MR 202

# ZIRCONIUM

[redacted]

85-0559/

MINERAL BULLETIN MR 202

# ZIRCONIUM

## AN IMPORTED MINERAL COMMODITY

OCTOBER 1983

Energy, Mines and Resources Canada
Énergie, Mines et Ressources Canada

© Minister of Supply and Services Canada 1984

**Available in Canada through**

Authorized Bookstore Agents
and other bookstores

or by mail from

Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

Catalogue No. M38-2/202
ISBN 0-660-52818-5

Canada: $5.50
Other Countries: $6.60

Price subject to change without notice

## ABSTRACT

This report - the fourth in a series intended to provide a basis for the consideration of recommendations and policy options for lowering Canada's vulnerability to possible disruptions to its supply of imported mineral commodities - examines Canada's position in regard to the principal zirconium materials: zircon; fusion-cast zirconium-bearing refractory products; zirconium-bearing chemicals; and zirconium metal, master alloys, and alloys.

None of these is produced in Canada, except fused alumina-zirconia, a refractory product made solely for export, and certain magnesium-zirconium alloys and zirconium-bearing steels, all of which are made with imported raw materials.

Most of the 3 000-4 000 tonnes (t) of the various forms of zircon believed to be consumed in Canada each year is for foundry applications. Other minerals, notably chromite (imported from South Africa), olivine (obtained from the United States) and, to a lesser extent, silica sand are also used for these purposes and, if necessary, could be substituted for zircon.

Magnesium-zirconium master alloys are used in the manufacture of aerospace castings, particularly in Ontario. Several months' supplies are maintained in Canada. Non-availability of these materials would require reversion to older types of alloys which are more difficult to cast.

Zirconium's key role in Canada is in CANDU nuclear power reactors, where zirconium alloys are essential in the cladding for fuel bundles and, in the case of new reactors, in capital equipment such as pressure tubes, calandria tubes and reactivity control mechanisms.

If zirconium alloys were to become unavailable, the Canadian nuclear power industry -- as it now exists -- would collapse.

As a contingency measure, Ontario Hydro maintains at least nine months' stocks of nuclear fuel bundles.

Canada's vulnerability to short-term disruptions to supplies of nuclear fuel is diminished further by the availability of more expensive electricity from non-nuclear sources and, given time, from mothballed thermal plants.

Zirconium minerals are present in many countries, notably Australia (zircon), the Republic of South Africa (zircon and baddeleyite) and the United States (zircon). Australia is Canada's principal source of zircon imports; South Africa is its sole source of baddeleyite. At this time, there are no shortages of either material.

Canada has untapped zirconium resources in the Athabasca Oil Sands (zircon) and at Strange Lake along the ill-defined border between Quebec and Newfoundland (gittinsite).

Adequate metal and alloy production facilities exist in France, Japan and the United States.

No action by the federal government in regard to zirconium supplies is called for at this time.

## FOREWORD

Canadians are becoming increasingly conscious of the importance of their mineral domain. Producing some 60 mineral commodities, Canada ranks third in the world - after the United States and the U.S.S.R. - in value and diversity of mineral production, and is the world's foremost exporter of minerals.

As Canada enjoys a privileged position - not only because of the substantial mineral resources within its borders but also because it has the ability to produce most of its own mineral requirements - it may come as a surprise to many Canadians that the value of annual imports of mineral and mineral-based products amounts to several billion dollars.

Some of these products, such as iron ore and various industrial minerals, are also mined in this country; others, such as bauxite, chromium, manganese, and phosphate rock, are not.

Given current concerns about an increasingly unstable international situation, greater attention is now being paid by government to those mineral commodities that Canada must import. Other industrialized countries, whose economic vulnerability is far greater than our own because of their lesser degree of mineral self-sufficiency, are also taking a closer look at their individual situations with respect to such imports.

To determine Canada's vulnerability to shortages in supply of a particular imported mineral product, answers must be sought to questions such as:

- In what countries does the given mineral product originate?
- What routes does it follow in coming to Canada?
- How vulnerable is this supply chain to political or other disruptions?
- How much of the mineral product is used to produce what?
- Are there alternative sources of supply?
- What are the substitute materials that can be obtained domestically or from other countries?
- What actions would be required to obtain this mineral product from another source or to use a substitute?

In summary: to what degree is Canada's future supply at risk for the mineral product in question and what should be done about it now?

This report on ZIRCONIUM - a metal used in Canada mainly as an alloy in the nuclear power industry and (in the form of zircon) as a refractory material - looks at one of the relatively few raw materials for which Canada is currently totally dependent on imports. It is the fourth in a series aimed at assessing possible problems in obtaining supplies of selected non-fuel minerals, to provide background information for government policy, which might involve such actions as guiding research that could lead to less dependence on external sources. The general topic of strategic minerals is addressed by R.J. Shank in "Canada's Dependence on Imported Minerals and Metals - The Issues", Mineral Policy Sector Internal Report MRI 81/7.

The following individuals in the Department of Energy, Mines and Resources cooperated in the preparation of this report: M.C. Campbell, R.K. Collings, Dr. J.E. Dutrizac, G.W. Riley and Dr. T.A. Wheat (Mineral Sciences Laboratories), W.J.S. Craigen (Office of Technology Transfer), and R.K. Buhr and Dr. G. Carpenter (Physical Metallurgy Research Laboratories) of the Canada Centre for Mineral and Energy Technology; Dr. G.A. Gross, Dr. D.C. Findlay and Dr. G.B. Leech (Economic Geology Division) Geological Survey of Canada; H.E. Thexton (Uranium and Nuclear Energy Branch) and W.F. McGarry (Electrical Energy Branch) of the Conservation and Non-Petroleum Sector; and M.A. Boucher, D.E.C. King, J.R.G.A. Lemieux, T.C. Newman, D.R. Phillips, and Dr. J. Zwartendyk of the Mineral Policy Sector. Welcome comments were received from Dr. I. Itzkowitch, R.J. McClure and E.G. Price of Atomic Energy of Canada Limited.

The study was coordinated by Dr. A.B.T. Werner of the Resource Policy Division, Mineral Policy Sector.

C.G. Miller
Assistant Deputy Minister
(Mineral Policy)

CONTENTS


| | Page |
|---|---|
| **PART I. PRINCIPAL ZIRCONIUM SUB-PRODUCTS** | 1 |
| Introduction | 1 |
| Zirconium Ores and Concentrates | 2 |
| Fusion-cast Zirconium-bearing Products | 2 |
| Zirconium-bearing Chemicals | 3 |
| Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys | 3 |
| Conclusions from Part I | 5 |
| References | 5 |
| **PART II. PRINCIPAL CANADIAN USES OF ZIRCONIUM PRODUCTS** | 6 |
| Zirconium Ores and Concentrates | 6 |
| Fusion-cast Zirconium-bearing Products | 6 |
| Zirconium-bearing Chemicals | 6 |
| Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys | 7 |
| Conclusions from Part II | 12 |
| References | 12 |
| **PART III. CANADA'S SOURCES OF ZIRCONIUM PRODUCTS** | 12 |
| **A. Domestic** | 13 |
| Zirconium Ores and Concentrates | 13 |
| Fusion-cast Zirconium-bearing Products | 13 |
| Zirconium-bearing Chemicals | 13 |
| Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys | 13 |
| **B. Foreign** | 14 |
| Zirconium Ores and Concentrates | 14 |
| Fusion-cast Zirconium-bearing Products | 14 |
| Zirconium-bearing Chemicals | 14 |
| Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys | 16 |
| Custom Tariffs | 16 |
| Conclusions from Part III | 16 |

| | Page |
|---|---|
| **PART IV. WORLD SUPPLY CAPABILITY** | 18 |
| Zirconium Ores and Concentrates | 18 |
| i) World Reserves | 18 |
| ii) Current World Supply Capability | 18 |
| iii) World Output in Recent Years | 19 |
| iv) Planned Expansions to World Supply Capability | 19 |
| Zirconium-bearing Chemicals | 21 |
| i) World Production | 21 |
| ii) Announced Additions to World Production Capacity | 21 |
| Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys | 22 |
| i) World Production Capacity | 22 |
| ii) World Output in Recent Years | 22 |
| iii) Possible Expansions to Capacity | 23 |
| Conclusions from Part IV | 25 |
| References | 25 |
| **PART V. ALTERNATIVE SOURCES OF SUPPLY** | 26 |
| Zirconium Ores and Concentrates | 26 |
| i) From Current Foreign Producers | 26 |
| ii) From Possible Canadian Production | 26 |
| Zirconium-bearing Chemicals | 27 |
| i) From Current Foreign Producers | 27 |
| ii) From Possible Canadian Producers | 27 |
| Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys | 27 |
| i) From Current Foreign Producers | 27 |
| ii) From Possible Canadian Producers | 28 |
| Conclusions from Part V | 29 |
| References | 29 |
| **PART VI. SUBSTITUTE MATERIALS** | 31 |
| Zirconium Ores and Concentrates | 31 |
| Zirconium-bearing Chemicals | 32 |
| Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys | 32 |
| Conclusions from Part VI | 32 |
| References | 33 |

| | Page |
|---|---|
| **PART VII. SUMMARY** | 34 |
| Canadian Uses | 34 |
| Current Sources | 34 |
| World Supply | 35 |
| Possible Domestic Sources | 35 |
| Substitutes | 35 |
| Stocks | |
| **PART VIII. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATION** | 36 |
| Conclusions | 36 |
| Recommendation | 37 |
| **APPENDICES** | 39 |
| 1. Canadian Dollar Equivalents of Published Prices for Selected Grades of Zirconium Materials, 1970-81. | 41 |
| 2. Principal Zirconium-bearing Chemicals and Their Chief Uses. | 42 |
| 3. Zirconium Requirements for 600 MWe and 850 MWe CANDU Reactors. | 45 |
| 4. Canadian Customs Tariffs on Imported Zirconium-bearing Materials | 46 |
| 5. Country by Country Reviews | 48 |
| Australia | 48 |
| Brazil | 48 |
| China | 50 |
| France | 50 |
| India | 50 |
| Japan | 50 |
| Republic of South Africa | 52 |
| U.S.S.R. | 53 |
| United States | 53 |
| References | 56 |
| 6. Selected Reports on Zirconium Prepared by Energy, Mines and Resources, Canada | 59 |
| 7. General References | 60 |

Page

## TABLES


1. Zirconium-bearing Products and their Relative Price Levels, 1983 — 1

2. Analysis of Zirconium-bearing Materials from Concentrates Produced from Selected World Deposits — 3

3. Composition of Common Zirconium Alloys Used in the Nuclear Industry — 4

4. Zirconium-bearing Magnesium Alloys made by Haley Industries Limited, Haley, Ontario — 7

5. Canadian Manufacturers of Zirconium Alloy Components for CANDU Reactors — 9

6. CANDU Pressurized Heavy Water Electric Generating Stations in Operation, Under Construction or Proposed in Canada or Abroad — 10

7. Canada, Zirconium Imports, by Country, 1980-82 — 15

8. Principal Sources of Canada's Zirconium Sub-Products — 17

9. World Reserves of Zirconium — 18

10. Nominal World Zirconium (Ore and Concentrate) Production Capacity — 19

11. World Production of Zirconium Concentrate, by Country, Selected Years 1960 to 1982 — 21

12. Western World Zirconium Sponge Production Capacity, 1983 — 22

13. Major World Zirconium Ferroalloy Producers — 23

14. Estimated Western World Zirconium Ingot Production, 1975-82 — 24

15. Additions to Western World Zirconium Sponge Production Capacity under Consideration in Recent Years — 24

A-1 Australian Producers of Zircon Sands and Concentrates, 1981 — 49

A-2 Japan, Zirconium Metal and Zirconium-bearing Alloy Producers and Fabricators — 51

A-3 United States, Producers of Zirconium Materials — 54


## FIGURES


1. The Applications of Zirconium in CANDU Nuclear Reactor Fuel Bundles and Channels — 8

2. Canada, Forecast Demand for Zirconium Alloy Mill Products for CANDU Nuclear Power Reactors (Domestic and Export), 1982-90 — 11

3. Principal Producers of Zirconium Concentrates, 1981 — 20

## PART I. PRINCIPAL ZIRCONIUM SUB-PRODUCTS

### Introduction

Zirconium is essential to modern industry. It is used in a wide variety of products such as foundry cores and linings, heavy-duty grinding wheels, porcelains, aircraft engine components, and the cladding that surrounds the radioactive fuel in nuclear reactors[1].

Industry consumes this element in several forms: zircon (a zirconium silicate), baddeleyite (zirconium oxide), zirconium chemicals, zirconium metal and zirconium-bearing alloys.

Selected zirconium-bearing materials and their prices, ranging all the way from $115 per tonne* for zircon to $374,000 per tonne for zirconium metal powder, are listed in Table 1. Historical prices series are given in Appendix 1.

Note: references are listed at the end of each Part.
* $300 per tonne delivered at Canadian plant.

**Table 1**

**Zirconium-bearing Products and their Relative Price Levels, 1983**

| | $ per tonne |
|---|---|
| Zircon, standard (foundry) grade, minimum 65% $ZrO_2$, bulk, fob Australia[1,2] | 115-126 |
| Zircon, United States milled, 200-325-mesh, carload, from works, bags[3,4] | 306 |
| Zirconium hydride, electronic grade, powdered[2], drums, from works, United States[3,4] | 850-2,050 |
| Baddeleyite, 99%+$ZrO_2$+$HfO_2$, minus 325-mesh, cif Atlantic ports, United States (1981)[5,6] | 2,200-2,600 |
| Zirconium oxide, powder, commercial, drums, United States, 2,000 lbs. minimum[3,4] | 850-2,050 |
| Ferrozirconium/zirconium silicide, bulk[7] | 26,500 |
| Zirconium, sponge, United States[4,8] | 32,500-46,000 |
| Zirconium, sheet, strip, bar, United States[4,8] | 49,000-109,000 |
| Zirconium, powder[4,8] | 136,000-374,000 |

1 Staff, Industrial Minerals, No. 191, August 1983, p. 104
2 Converted from Australian dollars using exchange rate from The Financial Post, Vol. 77, No. 35, August 27, 1983, p. 28
3 Staff, Chemical Marketing Reporter, Vol. 224, No. 8, August 22, 1983, p. 39
4 Exchange rate from the Globe and Mail, August 3, 1983, p. B-15
5 Exchange rate from The Bank of Canada Review, July 1983, p. S-127
6 W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Preprint from the 1981 Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 5.
7 Quotation from Canadian supplier, 26.1.83.
8 Staff, American Metal Market, Vol. 91, No. 147, July 29, 1983, p. 7

## Zirconium Ores and Concentrates

Zircon, the most important zirconium-bearing mineral, is a natural zirconium-hafnium[2] silicate. Although it occurs in granitic rocks and pegmatites, deposits of economic significance are currently limited to concentrations in beach and other sands, where zircon is found in association with a variety of heavy minerals, notably the titanium minerals rutile and ilmenite and the rare earth mineral monazite. The profitability of zircon production is greatly affected by demand for its co-products, especially rutile.

Commercial zircon concentrates, obtained by separating zircon from other sand constituents, normally contain a minimum of 65 per cent zirconium oxide.

Zircon is an important foundry and refractory product. Zircon intended for use as foundry facings or in refractories is graded[3] and size blended to produce various grades required by industry. It may also be ground to produce zircon flour, which is used as an additive in moulding and core sands or in the preparation of ceramic wash coatings.

Zircon is also the raw material for making high purity zirconium oxide (zirconia). It is the principal source material for zirconium sponge, an intermediate material in the production of zirconium metal ingot. Zircon intended for nuclear applications and for the production of other zirconium-bearing forms, such as zirconia for foundry cores, should have low radioactivity. In addition, zircon for nuclear applications should be as low as possible in hafnium content. Table 2 shows the hafnium, uranium and thorium contents of selected zircon and baddeleyite concentrates.

Because of its high melting point, high resistance to thermal shock, excellent bonding properties and relatively high chemical inertness, zircon is widely used as a refractory material in foundry moulds, cores and ceramic wash coatings. Bricks and other shapes made by pressing and firing are used to line the insides of glass and non-ferrous metal furnaces, and the inside surfaces of steel ladles. Zircon is also used to make alumina-zirconia-silica (AZS) fused-cast and bonded refractory shapes.

Baddeleyite ($ZrO_2$), a naturally-occurring zirconium oxide (minimum commercial concentrate grade 97% $ZrO_2 + HfO_2$), is the second-most important ore mineral of zirconium. It is used to make fused alumina-zirconia (AZ) material and to produce high-quality heat-resistant refractory materials and zirconium compounds. It may also be used as a starting material for zirconium metal[4]. Baddeleyite has been used to make alloys such as ferrozirconium and in the manufacture of ceramic colours.

## Fusion-Cast Zirconium-bearing Products

i) Alumina-Zirconia-Silica

Fusion-cast AZS blocks are used to line the walls of glass furnaces. AZS refractories are also used to line salt-bath furnaces, sodium silicate furnaces and ceramic frit smelter blocks[5]. Bonded AZS bricks and other shapes are used on the floor of glass furnaces.

ii) Alumina-Zirconia

Partially fused alumina-zirconia (AZ), made from baddeleyite, is used in the manufacture of heavy-duty grinding wheels and in coated abrasives used to fettle castings and grind slabs and billets.

Table 2

Analysis of Zirconium-bearing Materials from Concentrates Produced from Selected World Deposits

| | Material | Weight per cent Zr | Hf | Si | Hf/Zr ratio | U | Th |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Canada (Syncrude) | Zircon | 48.6 | 1.24 | 15.5 | .0255 | .031-.042[1] | .013-.014[1] |
| United States (Florida) | Zircon | 48.2 | 1.12 | 15.4 | .0232 | .027-.030 | .011-.014 |
| Australia | Zircon | 48.2 | 1.23 | 15.1 | .0255 | .043 | .051 |
| Nigeria | Zircon | 42.9 | 3.48 | 12.3 | .0811 | .39 | 2.5 |
| South Africa | Zircon | 48.7 | 1.15 | 15.3 | .0236 | .037 | .015 |
| | Baddeleyite | 73.4 | 1.37 | - | .0186 | .10 | .011 |

Sources: J.E. Dutrizac, "A Comparative Analysis of Athabasca Tar Sand Zircon and Chemical Analysis of Some Other Canadian Zirconium Minerals", CANMET Report MRP/MSL 78-180 (TR), 1978, p. 9; (Uranium and Thorium) C.R. Lalonde and J.L. Dalton, "The Determination of Uranium, Thorium, Hafnium, Iron, Titanium, Calcium and Sulphur in Zircon Sands by X-Ray Fluorescence Analysis", CANMET Report MSL-INT 79-36, p. 9.
[1] Alberta Tar Sand

## Zirconium-bearing Chemicals

The most important of the numerous zirconium-bearing chemicals[6] used in the production of zirconium metal and in the ceramic, electrical, petrochemical, pharmaceutical, glass, textile, leather and paint industries are listed in Appendix 2.

Zirconium oxide (zirconia [$ZrO_2$]), used to make zirconium metal, other zirconium chemicals, alumina-zirconia (AZ) and the highest quality alumina-zirconia-silica (AZS), is the most distinguished member of this group.

NGK Insulators, Ltd. of Japan is currently investigating the use of zirconium oxide in a ceramic diesel engine[7]. Partially stabilized zirconia is also reported to be the top ceramic candidate for use in a new type of diesel engine for tanks being tested by Cummins Engine Co. Ltd. of Columbus, Indiana, U.S.A.[8].

## Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys*, and Zirconium Alloys

Because of its high resistance to corrosion, zirconium metal is used as cladding in vessels and components for chemical plants that handle substances such as urea, sulphuric acid, hydrochloric acid, sodium hydroxide, and nitric acid. It is also used in the glass industry to make seals for vacuum tubes, as a getter in vacuum tubes, and in electrolytic condensers. Shredded zirconium foil and leaf are used in the manufacture of photographic flash bulbs.

* A master alloy is an alloy, rich in one or more defined addition elements, that can be added to a melt to provide or raise the percentage of a desired constituent.

Zirconium serves to refine grain size and to render certain alloys castable. Zirconium master alloys with a zirconium content ranging from 30 to 60 per cent by weight are used to produce zirconium-bearing magnesium alloys used to cast aircraft engine components. Aluminum, nickel, cobalt, molybdenum and columbium alloys, which may also contain up to 1 per cent zirconium by weight, are used for this purpose. Titanium alloys used in the aerospace industry may contain up to 6 per cent zirconium by weight.

Zirconium ferroalloys are used in the manufacture of certain types of alloy steels. Ferrozirconium and zirconium-silicide, containing 12 to 40 per cent zirconium, are used as deoxidants and carbon scavengers in chromium steel and to make Alnico magnets.

Other zirconium-bearing alloys such as manganese-silicon-zirconium have been used to treat cast iron. Alloys containing 4 to 6 per cent zirconium have been used to introduce boron into steel.

Several zirconium alloys, Table 3, are used in thermal nuclear reactors because of their high strength, high resistance to corrosion, and low neutron-capture cross section. Zircaloy 2 is used for the fuel cladding of boiling-water reactors and, to a lesser extent, in heavy-water reactors[9]. Zircaloy 4 is used extensively to fabricate the cladding which surrounds the nuclear fuel of pressurized-water and of heavy-water reactors[10]. Zirconium-niobium is used to make pressure tubes for heavy-water reactors.

Reactor vessels called calandria have been fabricated using zirconium-niobium (columbium), Zircaloy 2, and Zircaloy 4.

Magnesium-zirconium, copper-zirconium, zirconium-niobium (columbium) and zirconium metal have also been used, although to a lesser extent, for fuel cladding[11].

The incremental market for zirconium alloys is largely determined by various countries' policies on nuclear power plant construction. The need to replace fuel in operating nuclear power plants does, however, create a steady demand for zircaloy fuel cladding.

**Table 3**

**Composition of Common Zirconium Alloys[1] Used in the Nuclear Industry**

| Element | Zircaloy-2 | Zircaloy-4 | Zirconium-Niobium |
|---|---|---|---|
| | (concentration, per cent by weight) | | |
| Sn | 1.2 to 1.7 | 1.2 to 1.7 | - |
| Fe | 0.07 to 0.20 | 0.18 to 0.24 | - |
| Cr | 0.05 to 0.15 | 0.07 to 0.13 | - |
| Ni | 0.03 to 0.08 | - | - |
| Nb | - | - | 2.5 |
| Zr | balance | balance | 97.5 |

Source: J.H. Schemel, "ASTM Manual on Zirconium and Hafnium", p. 23 and 30.
[1] Zircaloy-1 is obsolete; Zircaloy-3 has not been produced commercially.
- Nil.

**Conclusions from Part I**

Five main groups of zirconium-bearing products are used by industry: concentrates of zircon or baddeleyite; fusion-cast zirconium refractory materials; zirconium-bearing chemicals; zirconium metal; and zirconium alloys and master alloys.

Zircon is the starting material for most of these products. Baddeleyite is used to make an intermediate alumina-zirconia abrasive material.

Fusion-cast alumina-zirconia-silica has important applications as a liner in glass furnaces; alumina-zirconia is used in the manufacture of grinding wheels and coated abrasives.

Zirconium-bearing chemicals have a wide variety of applications, notably as intermediate materials in the production of zirconium metal and in the ceramic, electrical, petrochemical, pharmaceutical, glass, textile, leather and paint industries.

Zirconium metal is among the materials used for corrosion-resistant equipment for chemical plants. Particular uses are found in the containment of urea, sulphuric acid, hydrochloric acid, sodium hydroxide and nitric acid.

Zirconium alloys find important applications in aerospace components and, in particular, because of their high strength, high resistance to corrosion and low neutron-capture cross section, in nuclear power reactors.

## REFERENCES


1 General references for the zirconium uses described in Part I are: Roskill Information Services Ltd., "Economics of Zirconium, Third Edition, 1980"; S.J. Johnstone and M.G. Johnstone, "Minerals for the Chemical and Allied Industries", second edition; and G.G. Hawley (ed.), "The Condensed Chemical Dictionary", 10th edition.

2 "Zirconium and hafnium are geochemically associated in ... zircon", L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium" in United States Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1980 Edition", U.S. Bureau of Mines Bulletin 671, p. 1045.

3 J.W. Stamper and E. Chin, "Zirconium" in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1970 edition", U.S. Bureau of Mines Bulletin 650, p. 827.

4 Ronson Metals Corporation, "Baddeleyite Concentrate #96", April, 1978, p. 2.

5 Carborundum Company, "Technical Data Monafrax S-3", n.p.

6 J.B. Campbell (ed.), "Chemicalweek 1981 Buyers' Guide Issue", p. 704-705.

7 Staff, "Ceramic Engines", The Economist, Vol. 283, No. 7233, April 17, 1982, p. 103-104.

8 Staff, "Trimming Tank Engines", The Economist, Vol. 285, No. 7264, November 20, 1982, p. 92 and 95.

9 Staff, "Power Reactors 1980", Nuclear Engineering International, Vol. 25, No. 302, July-August, 1980, Supplement, p. 30-62.

10 Ibid.

11 Ibid.

## PART II. PRINCIPAL CANADIAN USES OF ZIRCONIUM PRODUCTS

### Zirconium Ores and Concentrates

Various grades of zircon are used in Canada, including sand, flour and opacifier-grade flour.

Canadian consumption of zircon sand, zircon flour and zirconium silicate is not reported, but is thought to be in the 3 000-4 000 tpy range.

Canadian primary steel companies and iron foundries, notably Canadian Steel Foundries Limited and Dominion Engineering Works Limited, are the largest users (2 000-3 000 tpy) of zircon in Canada. Zircon is used to make moulds and cores for metal castings; other important consumers are Abex Industries Ltd., Haley Industries Limited and Dofasco Inc.

Zircon flour and paints are used in commercial and precision casting operations. Noted Canadian manufacturers of zircon-bearing foundry supplies are: Foseco Canada Inc. of Guelph, Ontario; William R. Barnes Co. Limited of Waterdown, Ontario; Canadian Foundry Supplies Limited of Toronto; and George F. Pettinos (Canada) Limited, of Hamilton, Ontario.

Manufacturers of ceramic products are important consumers of zircon flour, especially Ferro Industrial Products Limited, of Oakville, Ontario and Chicago Vitreous (Canada) Limited of Ingersoll, Ontario. Consumers Glass Company Limited, and Domglas Inc., use bonded zircon bricks to line the floors of their glass-melting furnaces.

Norton Research Corporation (Canada) Ltd., of Niagara Falls, Ontario[1], uses baddeleyite to produce fused alumina-zirconia, an intermediate product which is exported to the United States to be made into abrasives.

### Fusion-cast Zirconium-bearing Products

i) Alumina-Zirconia-Silica (AZS) Refractories

Canadian glass making plants use alumina-zirconia-silica refractory shapes to line the walls of their furnaces and for glass furnace components. Chrome AZS refractories are used in fiberglass furnaces.

### Zirconium-bearing Chemicals

Zirconium oxide is used to stain ceramic glazes and enamels. In pure form, it is used by firms in the nuclear-power and abrasives industries. Zirconium oxide nozzles are used in the Canadian steel industry. Zirconia setters are used to hold products for firing and small quantities are used to produce laboratory equipment.

Zirconium naphthenates, zirconium octoates, zirconium linoleates and zirconium tallates are used in the manufacture of paints and varnishes.

**Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys**

i) Zirconium Metal

Two Canadian manufacturers produce flashbulbs with zirconium metal filaments.

Consumption of zirconium foil by Canadian manufacturers of photographic flashbulbs is not reported, but is believed to be declining due to growing consumer acceptance of electronic equipment as a source of photographic illumination. Zirconium foil is used in small quantities as an oxygen getter.

ii) Zirconium Master Alloys

At least 10 tpy (zirconium content) of zirconium master alloys, with zirconium contents ranging from 40 to 60 per cent, are used by Chromasco Limited, Haley Industries Limited, Table 4, and Robert Mitchell Inc., to make zirconium-bearing magnesium alloys for castings.

Some 300 to 400 tpy a year of ferro-zirconium, or (depending on price) zirconium silicide are used to make zirconium-bearing steels. Powdered ferro-silicon zirconium is used to make welding rods.

iii) Zirconium Alloys

Dofasco, a major Canadian steel maker, produces zirconium-bearing steels for structural and automobile applications.

Canadian aerospace parts manufacturers use magnesium alloys containing about 1 per cent zirconium to cast aircraft gearboxes, transmissions and constant-speed drive housings[2]. Most of these aerospace castings are eventually exported to the United States and to Europe.

Nuclear-grade zirconium alloys, Table 3, used in thermal nuclear-power reactors, are indispensable in the Canadian-designed CANDU reactor because of the system's unique use of natural uranium for fuel and of heavy water for neutron moderation.

**Table 4**

**Zirconium-bearing Magnesium Alloys Made by Haley Industries Limited, Haley, Ontario**
Preferred Chemical Composition - Major Alloying Elements

| American Society for Testing Materials Alloy Designation | Rare Earths | Silver | Zinc | Zirconium |
|---|---|---|---|---|
| | | (per cent) | | |
| EZ33A - T5 | 3.0 | - | 2.5 | 0.6 |
| QE22A - T6 | 2.0 | 2.5 | - | 0.6 |
| ZE41A - T5 | 1.3 | - | 4.2 | 0.7 |

Source: Haley Industries Limited, "Haley Industries Limited", p.17.
- Nil.

In the CANDU power reactor, see Figure 1, each natural uranium fuel rod is encased in zircaloy-4 for protection from the high-temperature heavy water coolant which surrounds it. Several such rods are said to form a fuel bundle. A number of fuel bundles surrounded by coolant are contained within a zirconium-niobium* pressure tube, which is separated from a surrounding calandria tube made of zircaloy-2 by insulating gas.

A pressure tube is held apart from a calandria tube by zirconium-niobium garter springs containing 0.5 per cent copper.

The CANDU's reactivity-control mechanism guide tubes are also made from zirconium alloys.

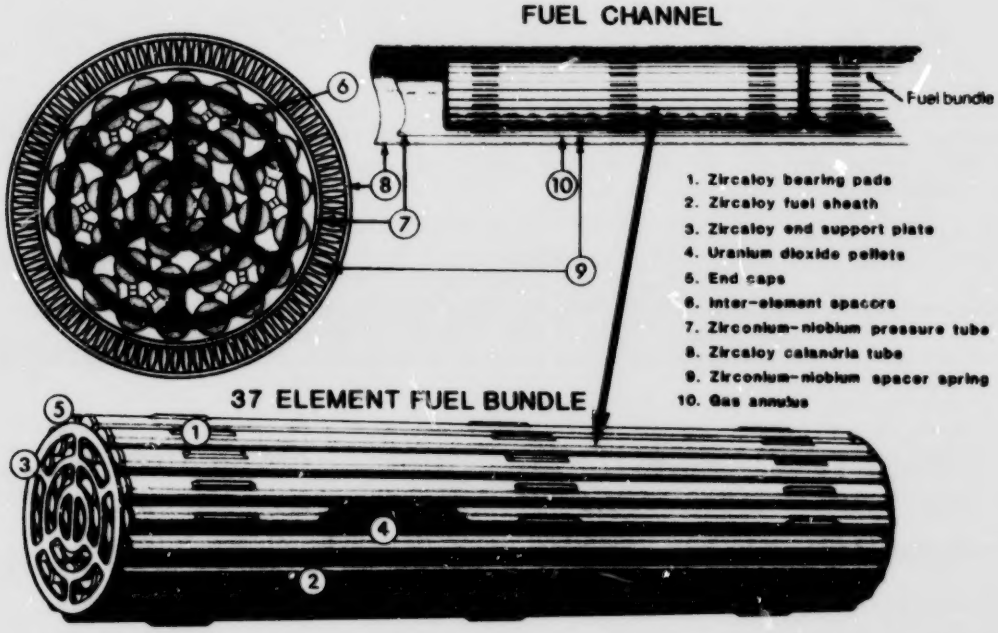
Canadian manufacturers of CANDU reactor components are listed in Table 5.

---

* Pressure tubes for the Douglas Point and Pickering A (units 1 and 2) reactors were made of zircaloy-2.

FIGURE 1

## THE APPLICATIONS OF ZIRCONIUM IN CANDU NUCLEAR REACTOR FUEL BUNDLES AND CHANNELS




Source: Atomic Energy of Canada Limited

CANDU 600 Station design

Table 5

**Canadian Manufacturers of Zirconium Alloy Components for CANDU Reactors**

| Company | Location | Part |
|---|---|---|
| Canadian General Electric Company Limited (CGE) | Peterborough, Ont. | Fuel bundle<br>Pressure tubes |
| Westinghouse Canada Inc. | Port Hope, Ont.<br>Varennes, Que. | Fuel bundle<br>Fuel bundle |
| Combustion Engineering-Superheater Ltd. | Moncton, N.B. | Fuel bundle |
| Noranda Metal Industries Ltd. | Arnprior, Ont. | Fuel cladding |
| Westinghouse Canada Inc. | Port Hope, Ont. | Fuel cladding |
| Chase Nuclear (Canada) Ltd. | Arnprior, Ont. | Pressure tubes |
| Westinghouse Canada Inc. | Port Hope, Ont. | Calandria tubes |
| Bristol Aerospace Limited | Winnipeg, Man. | Calandria tubes |

Source: M.A. Boucher, "Zirconium," Canadian Minerals Yearbook, 1980, p. 560.

It is estimated, on the basis of data given in Appendix 3, that a typical 600 MWe CANDU reactor would require some 36 t of nuclear grade zirconium (equivalent to some 52.5 t of zirconium sponge) for in-core constructional purposes. Twenty-five t would be needed for pressure tubes, 9.5 t for calandria tubes, and 2 t for reactivity-control mechanisms. In addition, 11.5 t would be required for cladding for fuel and fuel bundle assembly.

CANDU reactors require substantially more zirconium than do other reactor designs.

Annual consumption of zirconium in fuel bundles would amount to some 13 t of reactor grade zirconium (equivalent to some 21.6 t of zirconium sponge). Zirconium used for any of the above purposes is not recyclable.

Table 6 lists the CANDU generating stations in operation or under construction in Canada and abroad. It is estimated that by 1990 there will be some 13,000 MWe of CANDU electrical power generating capacity in Canada alone. Nuclear power currently accounts for 31 per cent of the electricity produced by Ontario Hydro.

Several zirconium alloys are used in the Canadian boiling light-water reactor[3].

Canadian demand for zirconium mill products required to build and operate domestic reactors and to fulfill foreign contract requirements is illustrated in Figure 2. Total requirements in 1990 are expected to be slightly more than 475 t of zirconium mill products.

Table 6

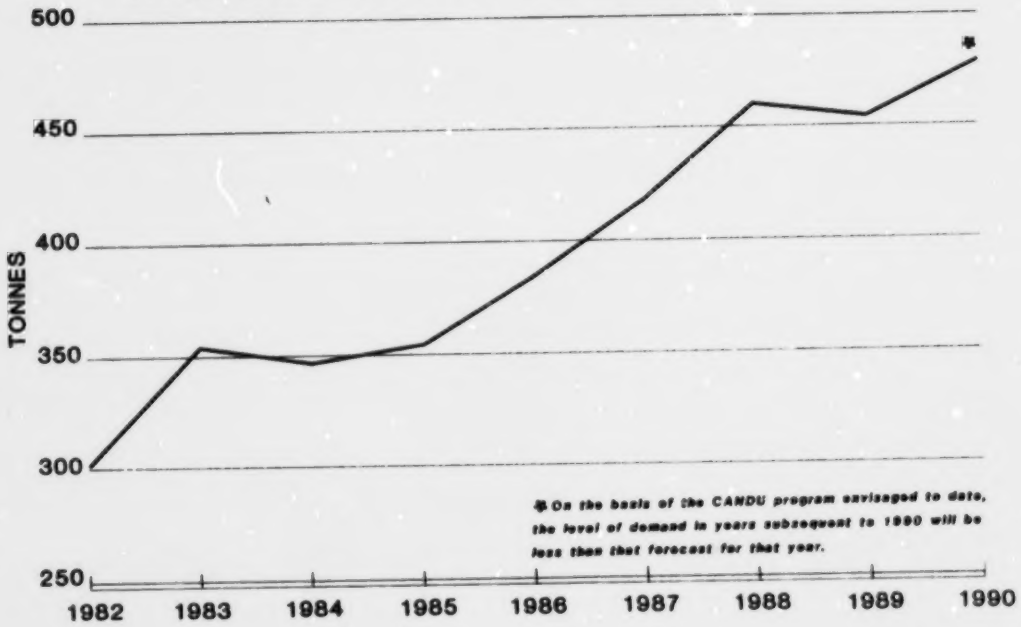
**CANDU Pressurized Heavy Water Electric Generating Stations in Operation, Under Construction or Proposed in Canada or Abroad**

| Generating Station | Location | Net Power (MW(e)) | In - Service Dates (Expected) |
|---|---|---|---|
| NPD 2 | Ontario | 22 | 1962 |
| Douglas Point | " | 206 | 1968 |
| Pickering A 1 | " | 515 | 1971 |
| Pickering A 2 | " | 515 | 1971 |
| Pickering A 3 | " | 515 | 1972 |
| Pickering A 4 | " | 515 | 1973 |
| Bruce A 1 | " | 740 | 1977 |
| Bruce A 2 | " | 740 | 1977 |
| Bruce A 3 | " | 740 | 1978 |
| Bruce A 4 | " | 740 | 1979 |
| Gentilly 2 | Quebec | 638 | 1983 |
| Point Lepreau | New Brunswick | 635 | 1983 |
| Pickering B 5 | Ontario | 516 | 1983 |
| Pickering B 6 | " | 516 | 1983-5 (1984) |
| Pickering B 7 | " | 516 | (1985) |
| Pickering B 8 | " | 516 | (1985) |
| Bruce B 5 | " | 750 | (1985) |
| Bruce B 6 | " | 750 | (1984) |
| Bruce B 7 | " | 750 | (1986) |
| Bruce B 8 | " | 750 | (1987) |
| Darlington 1 | " | 881 | (1988) |
| Darlington 2 | " | 881 | (1989) |
| Darlington 3 | " | 881 | (1991) |
| Darlington 4 | " | 881 | (1992) |
| | | 15 109 | |
| KANUPP | Pakistan | 125 | 1972 |
| RAPP 1 | India | 200 | 1973 |
| RAPP 2 | " | 200 | 1981 |
| Cordoba | Argentina | 600 | (1983) |
| Wolsung 1 | Korea | 629 | (1983) |
| Cernavoda 1 | Romania | 629 | (198-) |
| Cernavoda 2 | " | 629 | (198-) |

Sources: Energy, Mines and Resources Canada; M.A. Boucher, "Zirconium", Preprint from the 1980 Canadian Minerals Yearbook, p. 7-8; Ontario Hydro, Staff, "Ontario Hydro Sets Back Plans", The Globe and Mail, November 16, 1982, p. B-7.

FIGURE 2

# CANADA, FORECAST DEMAND FOR ZIRCONIUM ALLOY MILL PRODUCTS FOR CANDU NUCLEAR POWER REACTORS (DOMESTIC AND EXPORT) 1982-90




Source : Ontario Hydro, February, 1982.

Note: Demand for any given year mainly represents demand in Ontario. From 1985 on, forecasts are based on the construction of one CANDU installation every two years.

Unless there are additional commitments to domestic reactor construction or new export sales, Canadian demand for zirconium after 1990 will be mostly governed by the rate of replacement of fuel bundles spent in domestic power generation. Since the cost of the zirconium contained in fuel elements is but a fraction of their overall cost, consumption levels may be considered to be insensitive to changes in zircon or zirconium alloy prices.

**Conclusions from Part II**

Zircon has its greatest tonnage use in Canada in moulds and cores for metal castings made by steel companies and iron foundries. Zircon flour finds applications in ceramics and washes.

Baddeleyite, which has a higher zirconium oxide content than zircon, is used to make alumina-zirconia, an intermediate product which is exported to the United States to be made into abrasives.

Canada uses fusion-cast zirconium-bearing products as liners in glass furnaces and for shrouds in continuous casting operations in the steel and nonferrous metals industries.

Zirconium-bearing chemicals are used in the steel industry, and in paints and varnishes.

Zirconium metal is used in flashbulbs. Zirconium alloys, the highest-value consumption in Canada, are used in steelmaking, in aircraft castings, and in nuclear reactor cores.

The use of zirconium alloys in nuclear power generation is by far the most important use of zirconium-bearing materials in Canada. High-purity zirconium alloys are essential to the CANDU system. If these alloys were to become unavailable, the domestic nuclear power industry -- as we now know it -- would collapse.

**REFERENCES**

[1] Staff, "Exolon and Norton Companies No Longer Need AECB Licence", Atomic Energy Control Board News Release 81-26, December 16, 1981, p. 1.
[2] P. O'Connor, "Haley Moves Into High Gear", Canadian Business, Vol. 54, No. 12, December 1981, p. 39.
[3] M.L. Taylor, "Gentilly-Commissioning and Early Operation", Nuclear Engineering International, Vol. 17, No. 198, November 1972, p. 929-933.

## PART III. CANADA'S SOURCES OF ZIRCONIUM PRODUCTS

### A. DOMESTIC

**Zirconium Ores and Concentrates**

Although small amounts of zircon have, in the past, been produced for technical and commercial evaluation, no zircon or baddeleyite is now being produced in Canada. None of the zircon flour used in Canada is milled in this country.

**Fusion-cast Zirconium-bearing Products**

No alumina-zirconia-silica is currently being produced in Canada. However, alumina-zirconia is produced from imported baddeleyite, all Canadian production being exported to the United States for use in the manufacture of abrasives.

**Zirconium-bearing Chemicals**

No zirconium-bearing chemicals are known to be produced in Canada at this time.

**Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys, and Zirconium Alloys**

No commercial quantities of zirconium metal are made in Canada.

Zirconium-magnesium master alloys have been made in Canada but have not been produced for the past two years.

Haley Industries Limited, of Haley Station, Ontario makes a series of zirconium-bearing magnesium alloys for use in aerospace castings, Table 4, using imported zirconium-magnesium master alloys and Canadian magnesium.

Dofasco Inc. of Hamilton, Ontario produces steel containing up to 0.10 per cent zirconium from imported ferrozirconium or zirconium silicide and domestic iron.

In the early 1970s, Eldorado Nuclear Limited produced zirconium alloys for the CANDU reactor program. It no longer makes these materials.

CANDU reactor components are fabricated by a number of Canadian manufacturers, Table 5, from imported zirconium-niobium and zircaloys.

Ontario Hydro is reported to have some nine months' supply of zircaloy-clad nuclear fuel bundles in inventory.

## B. FOREIGN

### Zirconium Ores and Concentrates

All of the zircon and baddeleyite used in Canada is imported. Table 7 shows the amounts and sources of imports of zirconium ores and concentrates imported into Canada. Most originates in Australia. No separate statistics are available for zircon sand and zircon flour, but almost all of the imports from Australia are believed to be of the sand category.

A significant part (equivalent to 100 per cent of the volume of imports of zircon sand from Australia in 1981, and 50 per cent of the volume of imports from that country in 1982) of Canada's imports of zircon sand is re-exported to the United States for milling to zircon flour. Some of this zircon flour is then sent back to Canada.

Approximately 33 per cent (1981) and 50 per cent (1982) of Canada's imports of zircon sand and flour and 65 per cent (1982) of Canada's imports of zirconium silicate from the United States appears to be processed sand originally brought into the United States from Australia (via Canada and maybe other routes).

Some zircon possibly amounting to 10 per cent of Canada's consumption is imported from South Africa (via the United States)[1]. Smaller quantities of zirconium ores and concentrates have been imported from Malaysia and France[2].

The amounts of zirconium ores and concentrates held in stocks in Canada are not reported. However, zircon is warehoused in bulk in the Niagara region of Ontario, and, in the case of South African zircon, held in stock in Cincinnati, Ohio.

Canada imports baddeleyite from the Republic of South Africa. The South African material imported into Canada is slightly radioactive. Import permits were mandatory prior to January 31, 1982, but are no longer required for this material[3]. No statistics are published on the amounts imported.

### Fusion-cast Zirconium-bearing Products

No statistics are published on Canadian imports of alumina-zirconia-silica (AZS) or alumina-zirconia (AZ) products. However, most of the AZS refractory shapes used in glass- and steel-making equipment are imported, primarily from the United States.

### Zirconium-bearing Chemicals

The limited data available on Canadian imports of zirconium-bearing chemicals (Table 7) show that the United States is Canada's major supplier of zirconium chemicals. The zirconium-bearing chemicals imported are primarily zirconium silicates followed by zirconium oxides. Little information is available on other imported zirconium chemicals used in Canada, such as hydroxide, peroxide, and carbide. Countries other than the United States, notably the United Kingdom, are known to be suppliers of imported zirconium-bearing chemicals[4].

**Table 7**

**Canada, Zirconium Imports, 1980-82**

| | 1980 | | 1981 | | 1982 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (tonnes) | ($ 000) | (tonnes) | ($ 000) | (tonnes) | ($ 000) |
| Zircon sand and flour[1,2] | | | | | | |
| Australia | 25 574 | 2,404 | 21 017 | 2,556 | 14 781[1] | 2,021 |
| United States | 1 955 | 537 | 1 599 | 478 | 660[2] | 249 |
| Total | 27 529 | 2,941 | 22 616 | 3,034 | 15 441 | 2,270 |
| Zirconium oxides | | | | | | |
| France | - | - | - | - | 18 | 137 |
| United States | 64 | 101 | 13 | 76 | 3 | 21 |
| Total | 64 | 101 | 13 | 76 | 21 | 158 |
| Zirconium silicate[3] | | | | | | |
| Australia | 35 | 17 | 31 | 26 | - | - |
| United States | 921 | 558 | 1 270 | 669 | 866[3] | 569 |
| Other countries | - | - | - | - | 10 | 8 |
| Total | 956 | 575 | 1 301 | 695 | 876 | 577 |
| Ferrozirconium alloys | | | | | | |
| France | 54 | 92 | 89 | 176 | 282 | 551 |
| United States | 179 | 348 | 232 | 515 | 191 | 412 |
| Total | 232 | 440 | 322 | 691 | 473 | 963 |
| | kg | | kg | | kg | |
| Zirconium, primary forms and fabricated material | | | | | | |
| Belgium - Luxembourg | - | - | - | - | 998 | 20 |
| France | 581 | 33 | 3 000 | 26 | - | - |
| South Africa | - | - | 20 000 | 35 | - | - |
| United States | 48 096 | 2,794 | 50 402 | 2,423 | 49 106 | 2,814 |
| West Germany | - | - | - | - | 9 230 | 1,389 |
| Total | 48 677 | 2,827 | 73 402 | 2,484 | 59 334 | 4,223 |
| Zirconium alloys | | | | | | |
| France | 38 792 | 1,977 | 67 614 | 3,491 | 24 046 | 1,198 |
| Sweden | - | - | - | - | 44 | 3 |
| United Kingdom | - | - | - | - | 19 449 | 95 |
| United States | 190 661 | 11,305 | 221 060 | 12,637 | 190 271 | 15,755 |
| West Germany | - | - | - | - | 8 757 | 1,478 |
| Total | 229 453 | 13,282 | 288 674 | 16,128 | 242 567 | 18,529 |

Source: Statistics Canada, "Imports - Merchandise Trade", Publication No. 65-207 Annual, as amended.

1 In 1981, re-exports of zirconium sand were equivalent in volume to Canada's 1981 imports of zirconium sand from Australia. In 1982, this figure amounted to 50 per cent of imports from Australia. 2 In 1981, approximately 33 per cent of Canada's imports of zircon sand and flour from the United States appears to be processed zirconium sand originally imported from Australia. In 1982 this figure appears to have increased to 50 per cent. 3 Approximately 65 per cent of Canada's 1982 imports of zirconium silicate from the United States appears to be processed zirconium sand originally imported from Australia.

- Nil.

## Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys, and Zirconium Alloys

Table 7 shows the quantities and sources of zirconium metal and alloys imported into Canada in 1979, 1980 and 1981.

Suppliers of zirconium-magnesium master alloys are CEZUS of France, Magnesium Elektron Ltd., of the United Kingdom (a subsidiary of British Alcan Aluminium Ltd. (Alcan)) and Teledyne Wah Chang of the United States.

Magnesium Elektron Inc. maintains an inventory, in the Montreal region, normally amounting to several months' consumption of zirconium-magnesium master alloys.

The United States is Canada's chief supplier of ferrozirconium and zirconium silicide. Suppliers include Union Carbide Canada Limited (or agents), Reactive Metals & Alloys Corporation of West Pittsburg, Pennsylvania, and A. Johnson & Co., Inc. of Lionville, Pennsylvania (ferrozirconium only).

The United States and France are Canada's main suppliers of primary and fabricated forms of zirconium and of zirconium alloys. Teledyne Wah Chang of the United States is an important supplier of zircaloys.

## Customs Tariffs

Canadian customs tariffs on imported zirconium-bearing materials are listed in Appendix 4.

## Conclusions from Part III

As is shown in Table 8, Canada is entirely dependent upon imports for its supplies of zirconium sub-products. Alumina-zirconia, an intermediate product made in Canada from imported baddeleyite, is exported to the United States for use in the manufacture of abrasives.

Most of Canada's zircon imports come from Australia. A high proportion (equivalent to 100 per cent of the import volume from Australia in 1981 and to 50 per cent in 1982) is re-exported to the United States for milling to zircon flour.

The United States is Canada's main source of zircon flour and zirconium silicate (much of it processed from United States imports of Australian zircon via Canada).

South Africa supplies (via the United States) possibly 10 per cent of Canadian requirements for zircon and the relatively small quantities of baddeleyite used in Canada.

The United States is Canada's principal source of partially-fused zirconium products and zirconium bearing chemicals.

Zirconium metal, zirconium master alloys and zirconium alloys are imported from the United Kingdom, the United States and France. One of the importers, Magnesium Elektron Inc., maintains an inventory of zirconium-magnesium master alloys, normally amounting to several months' consumption.

Ontario Hydro is reported to hold in inventory some nine months' supply of zircaloy-clad nuclear fuel bundles.

**Table 8**

**Principal Sources of Canada's Zirconium Sub-Products**

| | Domestic | Foreign |
|---|---|---|
| A. Zircon and baddeleyite | None | Zircon: Australia<br>Baddeleyite: South Africa |
| B. Zircon flour, zirconium silicate | None | United States |
| C. Zirconium-bearing chemicals | None | United States,<br>United Kingdom |
| D. Zirconium metal, master alloys, and alloys | Castable magnesium alloys are made using imported Zr/Mg master alloy | United States, France,<br>United Kingdom<br>South Africa |
| E. Partially-fused zirconium-bearing products | | |
| a) Intermediate products | i) AZ (alumina-zirconia): made in Canada from imported baddeleyite | (i) none |
| | ii) AZS (alumina-zirconia-silica): none | (ii) none |
| b) Finished products (containing AZ or AZS) | None | United States |

## PART IV. WORLD SUPPLY CAPABILITY

### Zirconium Ores and Concentrates

i) World Reserves

Table 9 shows the distribution of estimated world reserves of zirconium as reported in 1980. These figures presumably represent exploitable material that is reasonably well known. The largest reserves are in Australia (29 per cent of world total), and in the Republic of South Africa (22 per cent). The United States and India each have some 14 per cent of the total reported.

**Table 9**

**World Reserves of Zirconium[1,2]**

| | Zirconium Content[3] | |
|---|---|---|
| | (tonnes) | (per cent) |
| Australia | 7 257 000 | 28.9 |
| Brazil | 907 000 | 3.6 |
| India | 3 629 000 | 14.4 |
| Madagascar | 91 000 | 0.4 |
| Malaysia and Thailand | 91 000 | 0.4 |
| Sierra Leone | 454 000 | 1.8 |
| South Africa | 5 443 000 | 21.7 |
| Sri Lanka | 907 000 | 3.6 |
| U.S.S.R. | 2 722 000 | 10.8 |
| United States | 3 629 000 | 14.4 |
| World Total (rounded) | 25 130 000 | 100.0 |

Source: L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium: A Chapter from Mineral Facts and Problems, 1980 Edition", U.S. Bureau of Mines, Preprint from Bulletin 671, p. 3.
[1] Zirconium content basis [2] Exclusive of China [3] Natural zircon $(Zr,Hf)SiO_4$ contains about 50 per cent zirconium (Zr).

ii) Current World Supply Capability

In 1981, total western world zircon ore and concentrate supply capacity was estimated at 770 000 tpy[1]. Between 1973 and 1978[2], capacities expanded significantly, particularly in the Republic of South Africa. Production capacities of Australia and the United States have been decreasing as a percentage of world capacity while that of South Africa has been increasing. This trend is expected to continue; however, Australia is likely to maintain the largest absolute capacity to produce zircon in the foreseeable future, (Table 10).

Almost all baddeleyite production capacity is in South Africa. The capacity of Phosphate Development Corporation Ltd. (FOSKOR) is of the order of 7 200 tpy[3], while that of the Palabora Mining Co. Ltd. is believed to be greater than 5 000 tpy[4].

Small amounts of a rock type named caldasite - consisting mainly of baddeleyite or of a mixture of zircon and orvillite (hydrated zirconium silicate) - are mined in the Poços de Caldas district of Minas Geraes, Brazil[5].

Table 10

Nominal World Zirconium (Ore and Concentrate)[1] Production Capacity

| Region | Capacity | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1979 | | Estimated 1985 | |
| | (tonnes/year Zr content[2]) | (per cent) | (tonnes/year Zr content[2]) | (per cent) |
| Australia | 235 900 | 59.1 | 272 200 | 58.5 |
| Brazil | 3 600 | 0.9 | 4 500 | 1.0 |
| China (Mainland) | 5 400 | 1.4 | 7 300 | 1.6 |
| India | 8 200 | 2.0 | 9 100 | 1.9 |
| Malaysia | 1 800 | 0.5 | 2 700 | 0.6 |
| South Africa | 45 400 | 11.4 | 63 500 | 13.7 |
| Sri Lanka | 2 700 | 0.7 | 3 600 | 0.8 |
| U.S.S.R. | 37 200 | 9.3 | 38 100 | 8.2 |
| United States | 59 000 | 14.7 | 63 500 | 13.7 |
| Total (rounded) | 399 200 | 100.0 | 464 500 | 100.0 |

Source: L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1980", U.S. Bureau of Mines Bulletin 671, p. 1047.
1 Estimated zirconium content of ores and concentrates. 2 Natural zircon $(Zr,Hf)SiO_4$ contains approximately 50 per cent zirconium (Zr).

iii) World Output in Recent Years

The principal world producers of zirconium concentrates are shown in Table 11 and Figure 3. Australia is the leading producer in the western world. The Republic of South Africa is becoming an increasingly important source.

Production statistics for the United States are generally withheld to protect company confidential data. Output for the early 1980's is estimated to be of the order of 90 000 tpy[6].

No official production figures are available for Centrally Planned Economy countries. However, it is estimated that the U.S.S.R. produces some 75 000 tpy, and the People's Republic of China 14 000 tpy of zircon sand[7].

World baddeleyite production is small compared to that of zircon. Total South African production is of the order of 10 000 tpy[8].

Country by country output is reviewed in Appendix 5.

iv) Planned Expansions to World Supply Capability

No new significant expansions to zircon production have recently been announced. Production levels are expected to continue to reflect the levels of demand for zircon's titanium mineral co-products.

FIGURE 3

PRINCIPAL PRODUCERS OF ZIRCONIUM CONCENTRATES, 1981

Table 11

**World[1] Production of Zirconium Concentrate, by Country, Selected Years 1960 to 1982**

| | 1960 | 1970 | 1980[p] | 1981[e] | 1982[e] |
|---|---|---|---|---|---|
| Australia | 104 004 | 385 465 | 491 546 | 424 562 | 339 287 |
| Brazil | 5 768[2] | 4 067 | 3 993 | 3 992 | - |
| India[3] | 9 | 6 939 | 14 787[4] | 14 969[4] | 11 793 |
| Malaysia | 57 | 860[5] | 454[5] | 599[5] | - |
| South Africa | 6 682 | 392[6] | 79 832 | 99 790 | 79 832 |
| Sri Lanka | - | 112 | 3 031 | 3 202 | - |
| Thailand | - | 865 | 61 | 50 | - |
| United States | w | w | 70 000[e] | 92 500 | 100 000 |
| Other Countries | 12 844[7] | 3[8] | - | 8 165 | 6 532 |
| Total | 129 364 | 398 703 | 663 644 | 555 170 | 537 444 |

Sources: S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook, 1972, Volume I, Metals, Minerals and Fuels", p. 1343; J.G. Parker, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook, 1964 Volume 1, Metals and Minerals (Except Fuels), p. 1214; W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Preprint from 1981 Minerals Yearbook, p. 8. United States production: R.H. Fuller, "Zirconium and Hafnium", Mining Annual Review - 1981, p. 103; P. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", Mining Annual Review - 1983, p. 89; and M.H. MacPherson, "Zircon to the year 2000", 'IM' Refractories Supplement 1983, p. 86.

[1] Exclusive of production from centrally planned economy nations. [2] Chiefly baddeleyite. [3] Output of Indian Rare Earths Limited for year beginning April 1 of that stated. [4] Year beginning April 1 of that stated. [5] Exports. [6] Total of zirconium concentrate imports by the United States and Japan, possibly only part of total output. [7] Madagascar, Nigeria, Senegal, United Arab Republic. [8] Madagascar. [e] Estimated; [p] Preliminary; w Withheld. - Nil

**Zirconium-Bearing Chemicals**

i) World Production

No comprehensive statistics on the production of zirconium-bearing chemicals are available.

A relatively small portion of the requirements for zirconium oxide is obtained from baddeleyite. Synthetic zirconium oxide is produced using zircon as a starting material. In 1980, estimated world production of high-purity zirconium oxide amounted to some 14 200 t, 5 000 of which are estimated to have come from South African baddeleyite.

In addition to its ability to produce around 5 000 tpy of baddeleyite, the Palabora Mining Co. Ltd. is reported to have the capacity to produce 2 000 tpy of zirconium sulphate[9].

ii) Announced Additions to World Production Capacity

In 1980, Magnesium Elektron Ltd. of Twickenham, England, an important producer of zirconium-magnesium master alloys, announced that it would be expanding its capacity to produce zirconium oxide and zirconium carbonate at its Manchester, England, plant and at its United States subsidiary, Magnesium Elektron Inc., in Flemington, New Jersey[10]. Another oxide producer, Associated Minerals Consolidated Ltd. was reported to be planning to double the capacity of its New Hampshire zirconium oxide plant during 1981 to 1 360 t[11].

The Strange Lake, Quebec/Labrador, deposit may in due course become an important producer of zirconium oxide.

**Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys**

i) World Production Capacity

Table 12 shows estimated western world zirconium sponge production capacity. It is currently underused because of the low level of activity in the nuclear-power construction industry in the United States and elsewhere. The largest and the oldest production capacity is that of Teledyne Wah Chang at Albany, Oregon. French and Japanese plants are of more recent vintage. Information regarding the U.S.S.R.'s zirconium production capacity is not available.

World capacity for the production of zirconium ingot in 1983 is estimated to amount to 9 100 t, about double the actual demand[12]. Ingot melt capacity always exceeds sponge production capacity because ingot capacity includes the ability to handle both new sponge and recyclable zirconium scrap.

Known world producers of zirconium ferroalloys and their estimated capacities are shown in Table 13.

ii) World Output in Recent Years

Currently, the Western World's largest producer and supplier of zirconium sponge, ingot, metal, alloys and mill products is the United States. Japan and France are increasingly important producers and suppliers.

United States production of zirconium sponge in recent years has been estimated in the range of 1 600-2 000 t[13].

**Table 12**

**Western World Zirconium Sponge Production Capacity, 1983**

| Country | | Capacity (tpy) |
|---|---|---|
| France | Pechiney Corporation (CEZUS) | 1 600 |
| Japan | Nippon Mining Co. Ltd. | 150 |
| | Zirconium Industry Co. | -[1] |
| United States | Teledyne Wah Chang (Albany) | 3 600 |
| | Western Zirconium Co. | 1 350 |
| Total | | 6 700 |

Source: V.P. de Poix, "Zirconium Outlook Hit by Cancellations of Nuclear Power Plants", Engineering and Mining Journal, Vol. 184, No. 3, March 1983, p. 91.
[1] Capacity 300 tpy: production reported to have ceased in 1981.

Table 13

**Major World Zirconium Ferroalloy Producers**

| Country | Company and Location | Estimated Capacity circa 1979 FeSiZr (tpy) | SiMnZr |
|---|---|---|---|
| Brazil | Italmagnésio SA, Indústria e Comércio, Sao Paulo. | - | 530 |
| France | Creusot Loire, Paris. | 1 500 | - |
| Hungary | Ötvözetgyár, Salgótarján. | 200 | - |
| Italy | Officine Elettrochimiche Trentine SpA, Milan. | * | * |
| Japan | Shinetsu Chemical Industry, Kashiwahara, (location of subsidiary company called Shinano) | 1 000 | 1 000 |
| Norway | Sauda Smelteverk A/S, Sauda (Elkem) | - | 2 500 |
| United Kingdom | Murex Ltd. Rainham (British Oxygen Ltd. group) | 100 | - |
| United States | The Pesses Co., Pulaski, Pennsylvania | 100 | - |
| | Elkem Corporation, Alloy, West Virginia, | - | - |
| | | * | - |

Source: J. Parry (ed.), "Ferro Alloys: A World Survey", p. 73-149 and 163.
- no reported capacity. * capacity not known.

Table 14 shows western world zirconium ingot production estimated on the basis of consumption. The Soviet Union and China are also known to be producers of zirconium.

No statistics are available on world zirconium ferroalloy production.

iii) Possible Expansions to Capacity

Trends toward greater self-reliance in strategic material production and delays incurred by foreign consumers in obtaining export permits for nuclear-grade zirconium produced in the United States have provided an impetus for building extra zirconium production capacity in Europe and Asia.

**Table 14**

**Estimated Western World Zirconium Ingot Production, 1975-82[1]**

| | Nuclear Power Use | Military and Other Uses | Total |
|---|---|---|---|
| | | (tonnes) | |
| 1975 | 1 814 | 1 134 | 2 948 |
| 1976 | 2 268 | 680 | 2 948 |
| 1977 | 3 175 | 680 | 3 856 |
| 1978 | 3 402 | 1 361 | 4 763 |
| 1979 | 3 175 | 907 | 4 082 |
| 1980 | 3 175 | 907 | 4 082 |
| 1981 | 2 948 | 680 | 3 628 |
| 1982 | 3 628 | 907 | 4 535 |

Sources: Engineering and Mining Journal, March issues, 1976-1983.
[1] Estimated on the basis of consumption.

Various additions to capacity have been under consideration in France and Japan as well as in India (Table 15). Possible Japanese expansion was based in part on the reported development of a much cheaper process for producing zirconium sponge.

Possible dates for these projects are believed to have been set back by changes in the immediate prospects for the nuclear industry.

**Table 15**

**Additions to Western World Zirconium Sponge Production Capacity Under Consideration in Recent Years**

| Country | Company | New Capacity (tpy) | (target date) | Comments |
|---|---|---|---|---|
| France | CEZUS (Pechiney Corporation) | 1 450 | - | New solvent-free process |
| India | na | na | na | Orissa mineral complex |
| Japan | Mitsui/Ishizuka | 1 200 | na | No firm plans |
| | Nippon Mining | 1 000 | 1982 | Using zircon as raw material |

Sources: L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines "Minerals Yearbook, 1978-79, Volume I Metals, Minerals and Fuels", p. 1030; W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Preprint from the U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook 1980, p. 8 and 9; Staff, "Zirconium and Hafnium: Ishizuka Research to Start Zr Sponge Production", Roskill's Letter from Japan, No. 60, April 1981, p. 1; and, Staff, "Chementator", Chemical Engineering, Vol. 87, No. 22, November 3, 1980, p. 18.
na Not Available - Nil

**Conclusions from Part IV**

Although zircon occurs in many countries, production of concentrates is limited to but a few, notably Australia (by far the largest producer), South Africa, the United States and the U.S.S.R. Baddeleyite output is limited to South Africa and Brazil.

No world shortages of zirconium-bearing minerals or of zirconium refractories or chemicals are envisaged. While Canada is dependent upon imports for all of these materials, no disruptions to supply are foreseen at this time.

The United States, France, Japan, the U.S.S.R. and China currently produce almost all of the world's zirconium sponge. The world's ability to produce nuclear-grade sponge is substantially in excess of current demand.

In recent years, zirconium-bearing alloy production capacity has become more widespread throughout the western world. Zirconium alloys are, accordingly, now available to Canada from more than one western world source.

## REFERENCES


1 R.H. Fuller, "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review - 1981, p.103.
2 P.H.D. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review - 1979, p. 97.
3 P. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review - 1982, p. 95.
4 Ibid.
5 P.G. Embrey and J.P. Fuller, "A Manual of New Mineral Names, 1982-1978", p. 57 and 293.
6 See "Zirconium and Hafnium" in Mining Annual Review, 1972 to 1982.
7 W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Preprint from 1981 Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 8.
8 P. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review - 1983, p. 89.
9 Staff, "FOSKOR and PMC in Competition over Baddeleyite", Industrial Minerals, No. 169, October 1981, p. 61.
10 Staff, "Magnesium Elektron Inc. Expanding Zirconium Chemicals Output", American Metal Market, Vol. 88, No. 107, June 3, 1980, p. 8.
11 International Ionarc Inc., "Annual Report, 1980", n.p.
12 V.P. de Poix, "Zirconium: Outlook Hit by Cancellations of Nuclear Power Plants", Engineering and Mining Journal, Volume 184, No. 3, March 1983, p. 91.
13 See "Zirconium and Hafnium" chapter in U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1971 to 1980.

## PART V. ALTERNATIVE SOURCES OF SUPPLY

### Zirconium Ores and Concentrates

i) From Current Foreign Producers

Zirconium resources (zircon in particular) are widespread in the world. Given the appropriate market conditions, any number of countries could become producers and suppliers.

Only relatively small quantities of zircon originating in the United States are currently imported into Canada, although the United States is an important producer. There are currently producing countries such as India, Brazil, Sri Lanka, Thailand and Malaysia to which Canada might turn for supplies.

ii) From Possible Canadian Production

More than fifty recordings of zirconium-bearing minerals have been made in the National Mineral Inventory maintained by Energy, Mines and Resources[1]. These are largely of zircon and of the variety of zircon known as cyrtolite. Zircon occurs in uranium-bearing sedimentary rocks in the Elliot Lake area[2]; it is also found in pegmatites. In addition to having a relatively high hafnium content, zircon obtained from Canadian pegmatites is often radioactive - both of which are negative features.

Very few occurrences of baddeleyite are known in Canada. A very large deposit of gittinsite ($CaZrSi_2O_7$) and of various yttrium, beryllium, columbium and rare earth minerals has been located on a property owned by the Iron Ore Company of Canada near Strange Lake (Lac Brisson), along the ill-defined border between Quebec and Labrador (Newfoundland)[3]. The economic potential of this deposit is currently under investigation, as is that of a deposit containing tantalum-columbium and accessory rare earths and zircon, owned by Highwood Resources Ltd. of Calgary, Alberta, at Thor Lake in the Northwest Territories.[4] The presence of gittinsite has also been reported in the Kipawa complex of Quebec[5].

The existence of heavy minerals in the Athabasca oil sands of Alberta has been known for many years[6,7,8]. Surface mining of these sands for their oil content led to the examination of their economic potential for producing by-product heavy minerals.

Work by the Alberta Research Council[9] has shown that zircon and titanium minerals occur throughout the 3 200 $km^2$ of the Athabasca Oil Sand deposit[10] that can be exploited using conventional surface-mining methods.

In 1976, Syncrude Canada Ltd. presented the results of a large-scale laboratory study of the economic potential of the heavy minerals contained in the tailings of the hot-water extraction process used to recover oil from Lease 17 in the Fort McMurray area of the Athabasca Oil Sands[11]. This showed that zircon could be separated from the titanium minerals rutile, ilmenite and leucoxene; that a high-purity zircon concentrate (up to 98.2 per cent zircon) could be obtained through beneficiation; and that the zircon crystals are relatively free from inclusions.

Additional work carried out by Energy, Mines and Resources[12] shows that the quality of the zircon in the Athabasca Oil Sands compares favourably with zircon produced from major world deposits in Australia, Africa, and the United States (see Table 2).

The Syncrude data also showed that zircon and titanium occur, with concentrations of 4 and 8 per cent, respectively, in the scroll centrifuge tailings resulting from the hot-water oil-extraction process, as compared to 0.05 per cent and 0.2 per cent, respectively, in the raw oil sands on Lease 17[13]. Recovery of zircon and titanium minerals from the scroll tailings was of the order of 75 per cent[14].

The Syncrude study further estimated that a 125,000 bbl/d Syncrude oil plant could produce some 41 000 tpy of zircon and some 94 000 tpy of titanium minerals[15]. It is expected that any production of heavy minerals from the Syncrude lease would involve co-production of zircon and titanium minerals. This would represent an annual amount of zircon far in excess of that required to meet Canada's zircon requirements for the foreseeable future, including any amounts needed to produce zirconium metal required for Canada's domestic and export nuclear power program.

Experimental work carried out at the Research Council of Alberta in the early 1970s[16] indicated that adsorption by peat could be a practical method for recovering zirconium and titanium, and also for separating the zirconium from the titanium contained in effluent streams such as those of oil-sand plant tailings.

At about the same time, it was reported that Canadian Titanium Pigments, Limited (now NL Chem Canada Inc.) was negotiating with Great Canadian Oil Sands Limited (now Suncor Inc.) to establish a $10 million plant on the Great Canadian Oil Sands property to extract 1 300-1 600 tpd of zircon[17,18]. Canadian Titanium Pigments was to use the differential gravitation technology currently employed in Australian sand exploitation by its parent N L Industries, Inc. to extract zircon from tailings. It was expected that the zircon would be shipped to the United States to be processed into zirconium oxide. However, zircon has yet to be produced from this source.

**Zirconium-bearing Chemicals**

i) From Current Foreign Producers

In addition to identified suppliers to the Canadian market, South Africa, Japan, France, West Germany, Italy, the Netherlands, U.S.S.R. and China are other reported suppliers of zirconium-bearing chemicals[19,20,21,22].

ii) From Possible Canadian Producers

In the early 1970s, Ionarc Smelters Ltd. of Vancouver developed a plasma-technology process to produce zirconium oxide[23]. Although the process is used in the United States, no Canadian output has ensued.

**Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys**

i) From Current Foreign Producers

Zirconium-magnesium master alloys could be obtained from a number of alternative sources, particularly in the United States.

In addition to the reported current suppliers, the United Kingdom, West Germany, Italy and Sweden have in the recent past supplied zirconium alloys to Canada[24]. With the reported development of new low-cost technology, Japan has the potential of becoming an increasingly important world supplier. At present, the

only supplier of zirconium-niobium alloy for pressure tubes for the CANDU reactor is in the United States, but zircaloys for fuel bundle sheathing and other CANDU components are widely used and available from all producers.

South Africa could eventually become a sizeable supplier, integrating forward from zircon or baddeleyite, a plentiful raw material. India has a plant[25] and Argentina[26] has expressed a desire to set up a metal plant by 1984.

ii) From Possible Canadian Producers

Much of the original work on zirconium metal and alloys was carried out in the 1960s. In Canada, successful research and pilot plant studies to produce zirconium metal both from zirconium oxide and from zircon sand[27,28] were conducted by Eldorado Nuclear Limited between 1962 and 1967. Subsequent to those studies, Eldorado announced the construction of a relatively small $8 million, 270 tpy nuclear-grade zirconium-alloy direct-cast ingot (zingot) plant, using Australian zircon sand as feed[29,30].

The process developed by Eldorado was novel because it produced zirconium alloy without the intermediate zirconium sponge stage[31,32]. Zingots, 1000-pound cylinders of zirconium alloy were welded end-to-end to form the electrodes required for further processing in a consumable-electrode vacuum-arc furnace. The plant was also equipped for forging, pickling and machining operations required to produce cored billets for subsequent extrusion by tube manufacturers[33]. The plant could also produce forged billets and bars for subsequent use of mill-product fabricators. Billets were sent to the United States for extrusion and shipped back to Canada.

Planned start-up of the plant was delayed from 1968 to 1969 because of operating problems, but by the end of 1969 material which was favourably evaluated by fabricators had been produced[34].

In 1970, there was excess world zirconium production capacity and operations at the Eldorado plant were suspended[35]. No zirconium alloys were produced in 1971[36]. In 1972, economic considerations led to the closure of the plant.

The Eldorado process was expected to recycle scrap zirconium alloys resulting from domestic fabrication, thus providing a better return than exported scrap, considering freight and testing costs incurred by the purchaser[37].

Eldorado subsequently conducted further research on zirconium, including mine solvent extraction from a sulphuric acid system, and leaching from baddeleyite ore[38].

Ontario Hydro, the largest domestic consumer of finished zirconium-bearing products has taken considerable interest in the development of a domestic source of zirconium alloys. In the mid 70s, Ontario Hydro invited proposals for the development of a zirconium metal plant. a joint study with AMAX Specialty Metals Corporation was abandoned in 1976[39]. More recently, Noranda Mines Limited has studied this subject for Ontario Hydro.

Continuing Canadian interest in the general area of zirconium extractive metallurgy is evident in a number of recent publications[40,41,42,43]. A Committee on the Extractive Metallurgy of Zirconium made up of representatives from industry and universities and from federal and provincial bodies has, until recently, been active in promoting research on potential new technologies to produce zirconium metal.

Any improvement through research in the degree of purity of the zirconium 90 isotope would immediately be reflected in the efficiency of the CANDU reactor.

**Conclusions from Part V**

Canada has substantial resources of zircon, especially in the oil sands of Alberta. Gittinsite, another zirconium-bearing mineral, is also abundant, notably in the Strange Lake area of Quebec-Newfoundland.

It is estimated that 41 000 tpy of zircon, as well as other heavy (titanium-bearing) minerals could be produced from a 125 000 bbl/d synthetic oil plant.

There are a number of producing countries, notably South Africa, from which Canada might be able to obtain zircon if existing sources of supply were to be cut off.

Zirconium chemicals to replace or supplement those coming from existing foreign suppliers might be obtained from a number of sources, notably South Africa, Japan, France, West Germany, Italy and The Netherlands.

Between 1969 and 1972, Eldorado Nuclear Limited produced zirconium alloy using imported zircon at a plant at Port Hope, Ontario. This operation has since been dismantled. Apart from zirconium-niobium used in pressure tubes for CANDU reactors (a capital item), zirconium alloys used in the CANDU system are available from a number of countries.

A modest but significant level of research in zirconium metallurgy has been maintained in Canada.

**REFERENCES**


[1] A data base on Canadian mineral occurrences maintained by the Mineral Policy Sector, Energy, Mines and Resources, Canada.

[2] N.J. Theis, "Uranium-Bearing and Associated Minerals in their Geochemical and Sedimentological Context, Elliot Lake, Ontario", Geological Survey Bulletin No. 304, 1979, 50 p.

[3] Staff, "Rare Mineral Find May Cause Debate", The Globe and Mail, August 9, 1983, p.9.

[4] A. Davidson, "Petrochemistry of the Blachford Lake Complex near Yellowknife, N.W.T.," in Y.T. Maurice (ed.). "Uranium in Granites", Geological Survey of Canada Paper 81-23, 1982, p. 71-79.

[5] H.G. Ansell, A.C. Roberts, A.G. Plant and B.D. Sturman, "Gittinsite, a New Calcium Zirconium Silicate from the Kipawa Agpaitic Syenite Complex, Quebec", Canadian Mineralogist, Vol. 18, 1980, p. 201-203.

[6] G.B. Mellon, "Heavy Minerals of the McMurray Formation", Research Council of Alberta, Report No. 72, Part II, 1956, p. 30-39.

[7] M.A. Carrigy, "Criteria for Differentiating the McMurray and Clearwater Formations in the Athabasca Oil Sands", Research Council of Alberta, Bulletin 14, 1963, p. 24.

[8] M.A. Carrigy, "Lithology of the Athabasca Oil Sands", Research Council of Alberta, Bulletin 18, p. 22.

[9] J.W. Kramers, and R.A.S. Brown, "Survey of Heavy Minerals in the Surface-Mineable Area of the Athabasca Oil Sand Deposit", CIM Bulletin, Vol. 69, No. 777, December 1976, p. 92-98.

[10] Alberta Department of Energy and Natural Resources, "Energy Heritage: Oil Sands and Heavy Oils of Alberta", ENR I/19-1, 1982, p. 35.
[11] L.W. Trevoy, R. Schutte and R.R. Goforth, "Development of the Heavy Minerals Potential of the Athabasca Tar Sands", CIM Bulletin, Vol. 71, No. 791, March 1978, p. 175-180.
[12] J.E. Dutrizac, "A Comparative Analysis of Athabasca Tar Sand Zircon and Chemical Analysis of Some Other Canadian Zirconium Minerals", CANMET Report MRP/MSL 78-180 (TR), 1978.
[13] J.W. Kramers and R.A.S. Brown, op. cit., p. 98.
[14] L.W. Trevoy, R. Schutte and R.R. Goforth, op. cit., p. 179.
[15] Ibid.
[16] S. Parkash, and R.A.S. Brown, "Use of Peat and Coal for Recovering Zirconium from Solution", CIM Bulletin, Vol.69 , No. 771, July 1976, p. 59-64.
[17] Staff, "Tar Sands for Zircon Extraction", C.P.I. Management, Vol. 9, No. 5, February 7, 1977, p. 2.
[18] H.C. McIntyre, "Uranium Exports Could Match Oil Imports", Canadian Chemical Processing, Vol. 61, No. 4, April 1977, p. 21.
[19] Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Zirconium, Third Edition, 1980", p. A-22 to A-29.
[20] W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", in U.S. Bureau of Mines, Preprint from the U.S. Bureau of Mines Minerals Yearbook 1980, p. 7 and 9.
[21] G. Clarke, "The Palabora Complex - Triumph Over Low Grade Ores", Industrial Minerals, No. 169, October 1981, p. 61.
[22] American Metal Market, June 3, 1980, p. 1.
[23] Staff, "Plan Zirconium Oxide Production Plant Using Ionarc High-Temperature Process," Northern Miner, Vol. 55, No. 8, May 8, 1969, p. 23.
[24] See Statistics Canada, "Imports-Merchandise Trade", Publication No. 65-203, (Annual), 1970 through 1979.
[25] P.G. Alfredson, D. Royston, J. Ward, W.J. Wright, "Survey of Future Production of Zircon and Zirconium in Australia", Australian Mineral Industry Quarterly Review, Vol. 26, No. 1, p. 28 and 36.
[26] Staff, "Fuel Fabrication Factory Opened", Nuclear Engineering International, Vol. 27, No. 327, May 1982, p. 8.
[27] Eldorado Nuclear Limited, "Annual Reports".
[28] G.P. Wigle, "Zirconium and Hafnium", Canadian Minerals Yearbook 1967, p. 511.
[29] Staff, "Zr and $UF_6$: New Products For Eldorado Nuclear", Chemistry in Canada, Vol. 21, No. 11, December 1969, p. 42-43.
[30] Eldorado Nuclear Limited, "Eldorado", n.d. (circa 1969), n.p.
[31] Ibid.
[32] G.P. Wigle, ibid.
[33] Eldorado Nuclear Limited, loc. cit.
[34] Eldorado Nuclear Limited, "Annual Report, 1969".
[35] Ibid.
[36] G.R. Couch, "Zirconium-Hafnium", Engineering and Mining Journal, Vol. 173, No. 3, March 1972, p. 137.
[37] Staff, "Zirconium Route Bypasses Sponge Step", Canadian Chemical Processing, Vol. 52, No. 6, June 1968, p. 72.
[38] Eldorado Nuclear Limited, "Annual Report 1974", p. 5.
[39] G.R. Couch, "Zirconium - A Non-Profit Metal Again in 1976", Engineering and Mining Journal, Vol. 178, No. 3, March 1977, p. 144.
[40] R.D. Spink, "Extractive Metallurgy of Zirconium and Hafnium", CIM Bulletin, Vol. 70, No. 787, Nov. 1977, p. 145-155.
[41] S.N. Flengas and J.E. Dutrizac, "A New Process for the Separation of Hafnium from Zirconium", Metallurgical Transactions, Vol. 8B, September 1977, p. 377-385.
[42] O. Bicerolu and W.H. Gauvin, "The Chlorination Kinetics of Zirconium Dioxide in the Presence of Carbon", The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 58, No. 3, June 1980, p. 357-366.
[43] A. Mitchell and R. Brown, "The Electron Beam Melting of Zirconium and Zircaloys", paper presented to the 6th International Conference on Zirconium in the Nuclear Industry, Vancouver, B.C., 28th June, 1982.

## PART VI. SUBSTITUTE MATERIALS

### Zirconium Ores and Concentrates

Chromite, olivine, alumina, magnesite, sillimanite, mullite, calcined clays, and silica are substitutes for zircon in certain foundry applications.

Chromite is, in general, the best replacement for zircon. Chromite sand has a number of advantages over zircon sand[1]. It has greater resistance to metal penetration, needs less filler because of its wider grain size distribution, has greater chilling tendency, and is normally less expensive than zircon sand. However, casting defects result if gangue and hydrous minerals are present. Because of the shortage and high price of zircon in the 1970s, foundries, particularly in Europe, switched to chromite[2]. However, with the re-establishment of normal supply conditions, zircon regained its market share from chromite by the late 1970s[3].

Olivine sand is used extensively in Scandinavia and in some parts of North America, largely for casting manganese steel[4]. The use of olivine sand was reported growing during shortages of zircon and chromite in the mid 1970s[5]. Olivine is less stable to thermal shock than are zircon or chromite[6].

There is no current Canadian production of chromite or olivine. The latter is obtained from North Carolina and Washington State in the United States.

Molochite (vitrified china clay), sillimanite, chrome-magnesite and staurolite sands have been used for investment casting[7].

In some operations, recycled zircon sand has been substituted for fresh zircon sand. It has been reported as being reclaimed from shell mouldings[8]. In other operations, reclaimed zircon sand has been used in place of fresh silica sand as a backing material in moulds. Shortages of zircon in the mid-seventies resulted in the use of lower grade zircon in applications where premium-grade zircon was formerly specified[9].

Although best results are achieved with zircon flour, silica, titania, chromite, alumina and magnesite have been used in foundries as substitutes in refractory washes[10]. Chromite flour is apparently unsatisfactory because of casting defects produced by contained hydrous minerals[11].

For small intricate castings, sillimanite, mullite and calcined clay flours can be used as substitutes for zircon flour[12].

More careful use of mould washes over a silica sand base acts as a substitute for zircon[13].

Clays, pyrophyllite, dolomite, high-alumina materials, and andalusite are substitutes for zircon in the linings of steel ladles. Fireclay and mullite have been used in place of zirconia in making stoppers and nozzles for ladles and tundishes used in the continuous casting of steel[14]. Sliding-gate valves have replaced stoppers and nozzles to a large extent. To some extent tabular mullite and magnesite can be used in place of zirconia in making sliding-gate valves[15].

Silica monoliths, silica bricks, high-alumina bricks, and basic bricks have been used instead of zircon monoliths as linings for coreless induction furnaces used mainly in iron foundries[16].

Baddeleyite used in alumina-zirconia abrasives can be replaced by zirconia obtained from zircon. However, zircon has a much lower zirconia content and removal of the silica from zircon requires additional processing.

### Zirconium-bearing Chemicals

Tin oxide can be substituted for zirconium silicate as an opacifier in ceramic glazes[17]. While more zirconium silicate is required to produce an effect equivalent to that of tin oxide, zirconium silicate is less expensive. Also, zirconium silicate combines well with zirconium chemicals used to colour glazes.

Titanium dioxide and antimony oxide can be used as substitutes for zirconium silicate in porcelain enamels used to glaze metals because of the lower firing temperatures typical of metal glazing[18].

The use of the many substitutes for zirconium-based glaze colouring agents would appear to depend to a large extent on compatibility with the rest of the glaze formulation, and on the willingness of users to accept departures from the desired colour effect.

### Zirconium Metal, Zirconium Master Alloys and Zirconium Alloys

Zirconium, stainless steel, aluminum, and magnesium have all been used as structural materials in the core of nuclear reactors[19,20]. The material selected depends on the specific reactor design, and specific designs represent long-term commitments. Zirconium is the only material acceptable for use in the Canadian CANDU reactor system.

The CANDU concept is based on the combination of zirconium, heavy water, and natural uranium. Some flexibility of choice is nonetheless possible between the specific zirconium alloys to be used in the reactor core. While a new reactor could be designed with the use of other materials, the cost of substitution for zirconium in existing CANDU reactors, with their inherent demand for zirconium-clad uranium replacement fuel, would be prohibitive.

Titanium metals and the group of nickel alloys called "hastelloys" are substitutes for zirconium in applications involving corrosive chemicals[21]. Titanium could be substituted for zirconium in chemical plants during any shortages of zirconium metal.

The castability of the magnesium zinc alloys used by aerospace industries greatly depends on the addition of zirconium. In the event of an interruption in zirconium supply outlasting inventories, it would be necessary to produce castings from old types of alloys, such as Mg 90 per cent, Al 9 per cent, Zn 1-2 per cent, which are susceptible to microporosity and are difficult to cast.

Rare earths could replace zirconium in zirconium-bearing steels.

### Conclusions from Part VI

Several substitutes are available for zircon in foundry applications, notably chromite and olivine, neither of which is currently produced in Canada. In some operations, recycled zircon sand has been substituted for fresh sand.

Zircon can be used in place of baddeleyite as the source of zirconia for alumina-zirconia abrasives. Substitutes also exist for zirconium-bearing chemicals.

Titanium metal, tantalum, certain nickel alloys known as "hastelloys" and ceramic coatings are substitutes for certain zirconium metal applications in the chemical industry.

No substitutes exist for the zirconium-bearing alloys used in the CANDU nuclear power system.

## REFERENCES


1 G. Ashby, "Minerals in the Foundry Industry", Second Industrial Minerals' International Congress, Munich, 1976, p. 161.
2 Ibid.
3 P.D.H. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review - 1978, p. 99.
4 G. Ashby, op. cit., p. 161 and 162.
5 I. Watson, "Olivine and Dunite: Slag Uses Foster Right Market", Industrial Minerals, No. 159, December 1980, p. 59.
6 G. Ashby, op. cit., p. 162.
7 G. Ashby, op. cit., p. 162.
8 J.M. Middleton, "Zircon: Its Application in the Foundry", Industrial Minerals, No. 16, Jan. 1969, p. 31.
9 B.M. Coope and E.M. Dickson (eds.), "Raw Materials for the Refractories Industry", Industrial Minerals Consumer Survey, 1981, p. 118.
10 G. Ashby, op. cit., p. 163.
11 Ibid, p. 164.
12 J.M. Middleton, op. cit., p. 31.
13 Industrial Minerals, No. 91, op. cit., p. 37.
14 Staff, "Refractories:1; Changing Patterns of Consumption", Industrial Minerals, No. 125, February 1978, p. 21.
15 Ibid.
16 Industrial Minerals, No. 125, op. cit., p. 25.
17 I. Watson, "Minerals For Frits and Glazes - Value in Variety", Industrial Minerals, No. 165, June, 1981, p. 27.
18 I. Watson, op. cit., p. 33.
19 G.A. Pon, "The Fundamentals of Nuclear Power", Atomic Energy of Canada Limited, n.d., p. 5-12.
20 D.H. Bradhurst, "Corrosion of Reactor Materials", Atomic Energy in Australia, Vol. 13, No. 4, October 1970, p. 10-15.
21 P. Wechsler, "Zirconium Competing with Titanium, Hastelloy in Chemical Industry", American Metal Market, Vol. 88, No. 251, Wednesday, Dec. 31, 1980, p. 1.

## PART VII: SUMMARY

### Canadian Uses

Canadian industry uses zirconium in the form of zircon (a zirconium silicate) and baddeleyite (zirconium dioxide) concentrates; fusion-cast zirconium-bearing products; zirconium-bearing chemicals; and zirconium metal alloys and master alloys.

In Canada, zircon is used to make moulds and cores for metal castings made by steel companies and iron and specialty metal foundries. Baddeleyite is the raw material for the manufacture of alumina-zirconia, an intermediate product exported to the United States for the manufacture of abrasives. Zirconium chemicals are used in the manufacture of sanitary ware, in electrical equipment, in the metallurgical industry, in paints and varnishes, in pottery and in the production of laboratory equipment. Zirconium metal is used in flashbulbs and chemical plant equipment. Zirconium-bearing alloys are essential to the CANDU nuclear system (see Part VIII: Conclusions and Recommendation). They are also used in aircraft castings and in steelmaking.

There are no figures on Canadian consumption of zirconium products. In 1981, imports amounted to 24 000 t of zircon and zirconium silicate worth $3.7 million, but re-exports of zircon amounted to some 21 000 t. Seventy-three t of various forms of zirconium valued at $2.5 million were imported, as were 322 t of ferrozirconium alloys, worth $0.7 million and 289 t of other zirconium alloys valued at $16.0 million.

### Current Sources

Canada is entirely dependent on imports for all of its needs for zirconium sub-products, except for alumina-zirconia - itself made from imported baddeleyite.

Australia is Canada's principal source of zircon (some of which is transshipped via the United States). Some zircon is imported from South Africa (via the United States). The United States is Canada's main source of zircon flour. South Africa is the source of the relatively small quantities of baddeleyite used in Canada.

Partially-fused zirconium products and zirconium-bearing chemicals are obtained mainly from the United States.

Zirconium metal and zirconium-bearing alloys are imported from the United States (which imports all of the baddeleyite and more than half of the zircon that it consumes) and France (a country entirely dependent on foreign sources for its zirconium raw materials).

### World Supply

Although zircon is found in many parts of the world, production of concentrates is centred in a relatively small number of countries, notably Australia (by far the largest producer), the Republic of South Africa, the United States, the U.S.S.R. and China. The Republic of South Africa produces practically all of the world's baddeleyite.

No shortages of zirconium-bearing minerals are currently envisaged. Nor are any difficulties in obtaining adequate supplies of zirconium refractories or of zirconium-bearing chemicals foreseen at this time.

The United States, France, Japan, the U.S.S.R. and China currently produce almost all of the world's output of zirconium sponge. The world's ability to produce this material is substantially in excess of current demand. At present, this is also the case with zirconium-bearing alloys; in recent years zirconium-bearing alloy production capacity has become more widespread throughout the western world. The new suppliers are reported to use lower-cost technology.

**Possible Domestic Sources**

Canada has substantial resources of zircon, especially in the oil sands of Alberta. In 1979, a large deposit of gittinsite, a calcium-zirconium silicate, was found near Strange Lake, 226 km north-east of Schefferville, Quebec. Extensive bench-scale tests, carried out for the Iron Ore Company of Canada since 1981, have resulted in the recovery of marketable grades of high-purity concentrate. Testing would be required to establish the suitability of material from these domestic sources as compared with imported zircon.

As to the possibility of establishing a domestic plant for making zirconium-bearing alloys for CANDU nuclear plants, it does not appear that such a plant could be economically justifiable in the foreseeable future. The scale of foreign zirconium alloy producers would make it very difficult for Canada to compete, especially in a world with overcapacity. Between 1969 and 1972, Eldorado Nuclear Limited produced zirconium-bearing alloy at Port Hope, Ontario, from zircon imported from Australia. The plant was not a commercial success and has since been dismantled. In the late 1960s and early 1970s, much research into new technologies for the production of zirconium metal was carried out at Canadian universities, but this has now virtually ceased.

**Substitutes**

Several substitutes, notably chromite and olivine (both also imported minerals), can be used in place of zircon in foundry applications. Zircon can be used in place of baddeleyite as the source of the zirconium oxide for making alumina-zirconia abrasives.

Substitutes also exist for zirconium-bearing chemicals. In applications involving corrosive chemicals, titanium metal and certain nickel alloys called "hastelloys" can replace zirconium metal.

No substitutes exist for the zirconium-bearing alloys used to clad the fuels for existing CANDU nuclear reactors.

**Stocks**

Zircon is warehoused in bulk in the Niagara (Ontario) region. Ontario Hydro is understood to hold in inventory at least nine months' supply of zircaloy-clad nuclear fuel bundles. Other Canadian consumers' stocks of zirconium-bearing products are not known.

## PART VIII: CONCLUSIONS AND RECOMMENDATION

### Conclusions

All of the zirconium concentrates (that is, zircon or baddeleyite) and all of the semi-processed forms of zirconium materials used in Canada in a wide variety of applications must be imported, as no zirconium is mined in Canada and there are no production facilities for making metal or master alloys (except for zirconium-niobium).

**Applications in nuclear fuel bundles.** Zirconium is essential for making nuclear fuel bundles for use in electricity production in Ontario, New Brunswick and Quebec. The ongoing availability of electricity at the lowest possible cost in the Province of Ontario, Canada's key manufacturing region, is vital to the economic well-being of Canada. Low-cost nuclear-generated base load power from existing CANDU plants - completely dependent on zirconium - amounts to almost one-third of Ontario Hydro's power output.

Canada's vulnerability to disruptions in electricity supply resulting from a lack of zirconium materials is low:

1) several countries produce zircon, notably Australia, the Republic of South Africa and the United States, and supply is currently plentiful. Only two per cent of world zircon production is turned into metal and alloys of the kind needed for CANDU reactors. In the unlikely event of disruptions in the flow of zircon, supplies used for other purposes could be diverted to zirconium metal production.

2) there is no shortage of world metal or alloy manufacturing capacity (United States, France, Japan).

3) Canada has adequate capability for manufacturing fuel bundles.

4) Ontario Hydro holds in inventory at least nine months' supply of zirconium-clad nuclear fuel bundles.

Nuclear power accounts for 31 per cent of the electricity produced by Ontario Hydro. Should zirconium-clad nuclear fuels not be available, the utility could a) curtail ad hoc sales of electricity, b) gradually increase power output from non-nuclear sources* (by up to 8-10 per cent of normal output), c) arrange for purchases of nydro-power from Quebec, and d) bring mothballed thermal plants back into production. All of these alternatives would considerably raise the average unit cost of electricity to consumers.

**Application in foundries.** While zircon is currently in world-wide over-supply, it could, in the event of short-term disruptions to supply, be obtained from other producing countries or replaced by other refractory materials such as chromite, olivine or, in some cases, silica sand.

In addition, Canada might be able to make use of zircon from Alberta Oil Sands, were research to establish that it is suitable for this purpose.

**Applications in abrasives.** Baddeleyite is imported from South Africa to make alumina-zirconia, an intermediate product that Canada exports to the United States to be made into abrasives. If baddeleyite were not available, zirconia from zircon could be substituted for it in its current uses.

---

* This approach was followed in Ontario in the summer of 1983 at the time of the shutdown at Pickering.

A large deposit of gittinsite, a complex yttrium-beryllium-zirconium oxide mineral, has recently been discovered some 230 km northeast of Schefferville, Quebec. Material from this deposit might find applications in the production of alumina-zirconia, once research has determined its suitability for this purpose.

**Applications in furnace liners.** Canada also imports fusion-cast zirconium-bearing products for use as liners in glass-making furnaces and in the steel and non-ferrous metal industries. Disruptions of up to six months to supply of fused zirconium-bearing products could be tolerated by patching existing structures.

**Recommendation**

In Canada, zirconium is a critical material only for nuclear power generation.

Given Ontario Hydro's stocks of at least nine months' requirements of nuclear fuel bundles clad with zirconium alloy, it is recommended that the federal government undertake no special action in regard to zirconium supplies at this time.

# APPENDICES

APPENDIX 1

CANADIAN DOLLAR EQUIVALENTS[1] OF PUBLISHED PRICES FOR SELECTED GRADES OF ZIRCONIUM MATERIALS, 1970-81[1,2]

A. Selected Concentrates and Chemicals

| | Zircon | | Baddeleyite | | Zirconium Oxide | | Zirconium |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | sand[3] | milled[4] | 96 to 98% $ZrO_2$[5] | 99%+ $ZrO_2$[6] | Opacifier grade[7] | Powder[8] | Hydride[9] |
| | ($/tonne) | ($/tonne) | ($/kg) | ($/kg) | ($/kg) | ($/kg) | ($/kg) |
| 1970 | 72 | 126 | na | na | .97 | na | 33.30 - 36.20 |
| 1971 | 68 | 122 | .33 | .99 - 1.34 | .93 | 14.50-17.90 | 32.20 - 35.70 |
| 1972 | 63 - 68 | 109 | .35 - .44 | .99 - 1.30 | .90 | 14.10-17.40 | 31.70 - 35.00 |
| 1973 | 94 - 98 | 110 | .35 - .44 | 1.06 - 1.39 | .93 | 14.30-17.60 | 32.00 - 35.30 |
| 1974 | 540 | 540 | .40 - .44 | 1.21 - 1.57 | 1.74 | na | 31.30 - 34.60 |
| 1975 | 560 | 550-555 | .40 - .44 | 1.26 - 1.61 | 1.81 | na | 32.60 - 35.90 |
| 1976 | 130 | 530-540 | .40 - .55 | 1.21 - 1.57 | 1.76 | na | 31.50 - 34.80 |
| 1977 | 79 - 84 | 570-580 | .60 - .82 | 1.41 - 1.87 | 1.90 | na | 33.90 - 37.50 |
| 1978 | 86 - 98 | 280 | .75 | 1.74 - 2.12 | 2.03 | na | 55.30 |
| 1979 | 64 - 70 | 290 | .71 -1.04 | 1.94 - 2.31 | 2.09 | 7.70 - 9.00 | 56.90 |
| 1980 | 97 - 104 | 290 | .86 -1.28 | 2.18 - 2.58 | 2.09 | 11.00-13.00 | 81.80 |
| 1981 | 139 - 146 | 306 | .95 -1.36 | 2.31 - 2.72 | 2.20 | na | 86.38 |

B. Selected Forms of Zirconium Metal

| | Sponge | Sheets, Strip, Bars | Powder |
|---|---|---|---|
| | ($/kg) | ($/kg) | ($/kg) |
| 1970 | 12.60 - 16.10 | 27.60 - 36.80 | 27.60 - 30.00 |
| 1971 | 12.40 - 15.70 | 26.70 - 35.70 | 26.70 - 28.90 |
| 1972 | 12.10 - 15.20 | 17.40 - 37.00 | 21.80 |
| 1973 | 12.10 - 15.40 | 17.60 - 37.50 | 22.00 |
| 1974 | 11.90 - 15.20 | 25.80 - 36.60 | 34.60 |
| 1975 | 12.40 - 15.70 | 22.50 - 38.00 | 35.90 |
| 1976 | 11.90 - 15.20 | 21.80 - 32.60 | 34.80 |
| 1977 | 13.00 - 21.20 | 23.40 - 35.30 | 164.20 - 233.70 |
| 1978 | 22.70 - 37.70 | 22.70 - 30.20 | 176.40 - 251.30 |
| 1979 | 23.20 - 31.10 | 46.50 - 90.40 | 180.80 - 257.90 |
| 1980 | 25.80 - 36.20 | 51.60 - 90.20 | 194.00 - 321.90 |
| 1981 | 32.60 - 46.20 | 49.00 -108.80 | 136.00 - 374.10 |

[1] Exchange rates from The Bank of Canada Monthly Review.
[2] Source: United States Bureau of Mines, "Minerals Year Book Volume I, Metals, Minerals and Fuels", 1971 to 1981 editions.
[3] Sand imported into the United States, containing 65 per cent $ZrO_2$, fob, bulk.
[4] United States 200- and 325-mesh, rail from United States works, bags.
[5] Concentrate imported into the United States: minus 100-mesh, cif Atlantic ports.
[6] Concentrate imported into the United States: minus 325-mesh, cif Atlantic ports.
[7] United States, 3,300-pound lots, 85 per cent to 90 per cent $ZrO_2$, bags.
[8] United States, commercial-reactor grade, drums, from works, bags.
[9] United States, electronic grade, powder, drums.
na Not Available

## APPENDIX 2

### PRINCIPAL ZIRCONIUM-BEARING CHEMICALS AND THEIR CHIEF USES

| Chemical | Chief Uses |
|---|---|
| **A. Zirconates** | |
| i) Ammonium tricarbonate zirconate | a) floor polishes<br>b) latex paints<br>c) lithographic films<br>d) paper coatings<br>e) textile water repellents |
| ii) Fluorozirconates | a) lithographic printing inks<br>b) metal-wetting agents<br>c) optical glass<br>d) resin-bonded grinding wheels<br>e) silicon rubber<br>f) welding flux |
| iii) Lead zirconate titanate | a) goggles and image storage devices (lanthanum-doped)<br>b) ultrasonic transducers |
| **B. Zirconium boride** | a) aerospace applications<br>b) cathode in high-temperature electrical systems<br>c) coatings on tantalum<br>d) cutting tools<br>e) high-temperature conductors<br>e) thermocouples |
| **C. Zirconium carbide** | a) abrasives and cutting tools<br>b) electrical conductors<br>c) incandescent filaments |
| **D. Zirconium carbonates** | |
| i) Basic zirconium carbonate | a) as an intermediate product in the production of other chemicals from basic zirconium sulphate. |
| ii) Carbonate | a) pharmaceuticals<br>b) water repellents |
| **E. Zirconium hydride** | a) flares, tracers, cartridges, incendiaries<br>b) hydrogenation<br>c) metal-foaming agents<br>d) nuclear moderators<br>e) powder metallurgy<br>f) vacuum tubes |

Principal Zirconium-Bearing Chemicals and Their Chief Uses (cont'd)

| Chemical | Chief Uses |
|---|---|
| **F. Zirconium hydroxide** | a) as an intermediate product in the production of zirconia from basic zirconium sulphate<br>b) glass<br>c) pigments and dyes |
| **G. Zirconium nitrate** | a) coating for steel carring molten metal<br>b) hardener for polyvinyl film |
| **H. Zirconium nitride** | a) cements<br>b) crucibles and refractories |
| **I. Zirconium oxide (zirconia)** | |
| i) Ordinary (baddeleyite, or from thermally cracked zircon) | a) alumina-zirconia (AZ) abrasives (baddeleyite)<br>b) alumina zirconia silica (AZS) refactory shapes<br>c) ceramic colours<br>d) ferrozirconium (baddeleyite)<br>e) glazes<br>f) opacifiers<br>g) other zirconium chemicals<br>h) polishes<br>i) refractories (baddeleyite)<br>j) zirconium metal (baddeleyite) |
| ii) Stabilized (cubic) (through the addition of a few per cent of MgO, CaO or $Y_2O_3$) | a) alkali-resistant glass<br>b) catalyst or catalyst carrier in petroleum cracking<br>c) ceramic heating elements<br>d) coatings for vessels used to melt high-purity alloys<br>e) crucibles<br>f) electrical porcelains<br>g) gemstones (substitute for diamond gems)<br>h) laboratory crucibles, combustion boats, mufflers and tubes<br>i) oxygen sensors in steel plants<br>j) setters, saggers and other kiln furniture<br>k) solid electrolytes<br>l) tundish nozzles and sliding-gate valves for continuous casting of steels |
| iii) Partially stabilized | a) dies<br>b) thermal barrier coatings (for diesel engines) |

Principal Zirconium-Bearing Chemicals and Their Chief Uses (cont'd)

| Chemical | Chief Uses |
|---|---|
| iv) High purity (chemically precipitated) | a) glass |
| **J. Zirconium oxychloride** | a) acidizing agents<br>b) greases<br>c) pharmaceuticals<br>d) pigments and dyes water repellents |
| **K. Zirconium phosphate** | a) carrier for radioactive phosphorus<br>b) coagulant |
| **L. Zirconium silicide** | a) flame and blast-resistant coatings<br>b) master alloy additive to steels |
| **M. Zirconium silicates** | |
| i) Zirconium silicate (pure) | a) ceramic opacifier and stain<br>b) coating on foundry moulds<br>c) electrical insulator<br>d) filler in polyurethene and polytetrafluorethylene |
| ii) Double silicates | a) fluxes in porcelain mixtures e.g. double cements (sodium zirconium silicate) |
| **N. Zirconium Sulphate** | |
| i) Basic zirconium sulphate | a) as an intermediate product in the production of pure zirconium hydroxide and basic zirconium carbonate from zircon and baddeleyite |
| ii) Zirconium sulphate | a) catalyst in hydrogenation processes<br>b) lubricant<br>c) protein precipitator<br>d) tanning agent |
| **O. Zirconium tetrachloride** | a) catalyst (oil, sulphur, detergents)<br>b) ortho-esters<br>c) pigments and tanning agents |

Sources: G.G. Hawley (ed.), "The Condensed Chemical Dictionary," 10th edition; S.J. Johnstone and M.G. Johnstone, "Minerals for the Chemical and Allied Industries," second edition; and Roskill Information Services Ltd., Economics of Zirconium, Third Edition, 1980.

## APPENDIX 3

## ZIRCONIUM REQUIREMENTS FOR 600 MWe AND 850 MWe CANDU REACTORS

| | 600 MWe | | 850 MWe | |
|---|---|---|---|---|
| | Nuclear grade[1] zirconium alloy (kg/MWe) | Zirconium sponge equivalent[2] (kg/MWe) | Nuclear grade zirconium alloy (kg/MWe) | Zirconium sponge equivalent[2] (kg/MWe) |
| **A. Capital Items** | | | | |
| Pressure tubes | 42.4 | 61.7 | 37.4 | 54.4 |
| Calandria tubes | 15.8 | 22.9 | 13.8 | 20.2 |
| Reactivity control mechanisms | 3.03 | 4.4 | 2.4 | 3.42 |
| | 61.23 | 89.0 | 53.6 | 78.02 |
| Cladding for fuel | 17.5 | 29.2 | 16.9 | 28.2 |
| **B. Annual Fuel Cladding Replacement** | | | | |
| Cladding for fuel | 22.0 | 36.7 | 15.5 | 25.8 |

Source: Atomic Energy of Canada Limited.

[1] The term "nuclear grade" generally distinguishes zirconium containing less than 200 ppm hafnium from so-called "commercial grade" zirconium which has 1-2 per cent hafnium. The CANDU reactor requires a lower concentration of hafnium than do pressure vessel reactors using enriched uranium fuel. Zirconium alloy for in-core CANDU constructional zirconium components, such as tubes (designed to stay in the reactor for up to 30 years), must have less than 50 ppm hafnium, while the fuel zirconium for cladding, end plates and fuel pencil end caps of the fuel bundles must have no more than 80 ppm. [2] Includes allowances for processing losses and recycling in manufacturing operations.

## APPENDIX 4

## CANADIAN CUSTOMS TARIFFS ON IMPORTED ZIRCONIUM-BEARING MATERIALS

CANADA

| Item No. | | British Preferential | Most Favoured Nation | General | General Preferential |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | (per cent) | | |
| 29500-1 | Sand | free | free | free | free |
| 29505-1 | Natural zirconium silicate | free | free | free | free |
| 33508-1 | Zirconium oxide | free | 4.6 | 15 | free |
| 34720-1 | Sponge and sponge briquettes, ingots, blooms, slabs, billets and castings in the rough, of zirconium or zirconium alloys for use in Canadian manufacture (expires June 30, 1984) | free | free | 25 | free |
| 34730-1 | Bars, rods, plate, sheet, strip, wire, forgings, castings, foils, welded tubes or seamless tubes two inches and over in outer diameter, of zirconium or zirconium alloys for use in the manufacture of nuclear power reactors, including fuels components (expires June 30, 1984) | free | free | 25 | free |
| 34731-1 | Seamless tubing, less than two inches in outer diameter of zirconium or zirconium alloys for use in the manufacture of nuclear power reactors, including fuel components (expires June 30, 1984) | 10 | 10 | 25 | 6.5 |
| 34911-1 | Magnesium alloy ingots to specifications A.S.T.M. QE 22 or QH 21, for use in the production of magnesium castings. (expires June 30, 1984) | free | free | 25 | free |
| 34912-1 | Hardener alloys, namely magnesium - rare earth, magnesium-didymium, magnesium-thorium, magnesium-zirconium, and magnesium-thorium-neodymium-rare earth, for use in the manufacture of magnesium castings (expires June 30, 1984) | free | free | 25 | free |
| 35121-1 | Ferrochromium, ferrozirconium and vanadium carbide, in powder form, for use in the coating or manufacturing of welding rods or welding wires, including consumable welding electrodes (expires June 30, 1984) | free | free | 25 | free |

Canadian Customs Tariffs on Imported Zirconium-Bearing Materials (cont'd)

| CANADA (Cont'd) Item No. | | British Preferential | Most Favoured Nation | General | General Preferential |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | (per cent) | | |
| 92828-3 | Hydrazine and hydroxylamine and their inorganic salts; other inorganic bases and metallic oxides hydroxides and peroxides (zirconium oxide) | free | 5 | 15 | free |
| 92828-6 | Hydrazine and hydroxylamine and their inorganic salts; other inorganic bases and metallic oxides, hydroxides and peroxides. Zirconium oxide for use in polishing spectical and eyeglass lenses (expires June 30, 1984) | free | free | 25 | free |
| 92845-4 | Silicates; commercial sodium and potassium silicates, zirconium double silicates | free | 4.6 | 15 | free |
| 92847-1 | Salts of metallic acids (for example, chromates, permanganates, stannates) zirconates (expires June 30, 1984) | free | 12.8 | 25 | free |
| 93819-1 | Chemical products and preparations of the chemical or allied industries (not including those consisting of mixtures of natural products other than compounded extenders for paints), nop; residual products of the chemical or allied industries, nop not including soap nor pharmaceutical, flavouring, perfumery, cosmetic or toilet preparations (zirconium spinel) | 10 | 14.1 | 25 | 9 |

| MFN Reductions under GATT (effective January 1 of year given) | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (per cent) | | | | | |
| 33508-1 | 4.6 | 4.5 | 4.4 | 4.3 | 4.1 | 4.0 |

Source: The Customs Tariff and Commodities Index, August 24, 1982, Revenue Canada, as amended.

## APPENDIX 5

## COUNTRY BY COUNTRY REVIEWS

### Australia

Since the 1930s, Australia has been the world's leading producer of zircon concentrates[1]. Zircon is produced as a coproduct with rutile and ilmenite from sands mined in Queensland, New South Wales, and western Australia[2]. In the past, eastern Australia has produced the highest-grade zircon. In 1980, Australia exported more than 501 000 t of zircon[3]. Selected aspects of the Australian zirconium industry are summarized in Table A-1.

Since 1977, western Australia has been the dominant producer of zircon sands and concentrates[4]. That development occurred because of pressure from environmental groups on the east coast, expansion of national parks, declining reserves of mineral sands, and labour problems[5-10]. Some 15 per cent of total identified Australian resources of zircon are unavailable for commercial exploitation because of environmental factors[11,12]. Premium-grade zircon, which is preferred in foundries is, however, available from other sources[13,14]. Australian reserves of zircon are estimated at more than 14 000 000 t with a zirconium content equivalent to some 7 000 000 t[15].

Australian production of zircon has undergone periods of oversupply followed by undersupply. In 1971, minimum export prices were set by the Australian government to prevent price undercutting in an oversupplied market[16]. By 1973-74, high demand coupled with falling production on the east coast drove prices to record highs[17]. Severe shortages of zircon were reported in Europe in early 1974[18], a significant factor for the shortage being the large-scale relining of steel-making ladles in Japan using zirconium products instead of pyrophyllite[19]. In November 1975, minimum export prices were again imposed[20]. Oversupply was attributed to prices beyond foundry threshold prices and to new sources of supply[21,22]. The Australian floor price was removed in 1977 and replaced by case-by-case control.

Australia also produces opacifier-grade zircon[23]; ferrosilicon zirconium was produced between 1940 and 1975[24]. Australian Industrial Refractories Pty Ltd.(AIR) and Bulli Tile and Brick Pty. Ltd. make zircon-bearing refractory bricks at Mayfield and at Bulli, respectively, both in New South Wales[25].

Associated Minerals Consolidated Ltd. of Australia maintains bulk stockpiles of zircon for its European customers, at Flushing in The Netherlands in co-operation with Frank & Schulte GmbH. of Essen, West Germany[26].

### Brazil

Brazil was a major supplier of zirconium minerals during World War II[27]. Large deposits of mineral sands occur along the coasts of the states of Bahia, Rio de Janeiro, and Espirito Santo[28]. In 1967, pilot production of caldasite, a mixture of baddeleyite and zircon and uranium from a uraniferous zirconium deposit in the Poços de Caldas region, was started by MINEGRAL-Companhia Brasileira de Mineraçoes Industria e Comercio[29]. From at least 1972, Monazita e Ilmenite do Brasil Limitada was recovering zircon as a byproduct of monazite operations at Ponta da Fruta and Guarapi in the state of Espirito Santo[30,31].

In 1981, Brazilian production of zirconium concentrate was estimated at 4 000 t[32].

Table A-1

**Australian Producers of Zircon Sands and Concentrates, 1981**

| Producing Companies | Mining Plants | Processing Plants | Concentrate Production |
|---|---|---|---|
| **East Coast** | | | |
| Associated Minerals Consolidated Ltd. | N. Stradbroke Island, QLD<br>Hastings Point, NSW<br>Jerusalem Creek, NSW<br>Diamond Head, NSW | - Dunwich, QLD<br>- Southport, QLD<br>- Hexham, NSW | |
| Consolidated Rutile Ltd. | North Stradbroke Island, QLD | - Meeandah, QLD | |
| Currumbin Minerals Pty. Ltd. | | - Currumbin, QLD | |
| Mineral Deposits Ltd. | Bridge Hill Ridge, Kempsey and Forster areas (8 plants), NSW | - Hawks Nest, NSW<br>- Crescent Head, NSW | |
| Rutile & Zircon Mines (Newcastle) Ltd. | Newcastle area, NSW (3 plants)<br>Myall Lakes National Park, NSW<br>Crowdy Bay National Park and Old Bar, NSW | - Tomago, NSW<br>- Harrington, NSW | |
| | | East Coast: | 159,000 |
| **West Coast** | | | |
| Allied Eneabba Ltd. | Eneabba, WA | - Geraldton, WA | |
| Associated Minerals Consolidated Ltd. | Eneabba, WA | - Capel and Eneabba, WA | |
| Cable Sands Pty Ltd. | Capel, WA | - Koombana Bay and Bunbury, WA | |
| Westralian Sands Ltd. | Capel, WA | - Capel, WA | |
| | | West Coast: | 270,000 |

Sources: Australia, Bureau of Mineral Resources, Geology & Geophysics, "Australian Mineral Industry Annual Review 1980", p. 327; M.H. MacPherson, "Zircon to the Year 2000" 'IM' Refractories Supplement 1983, p. 85.

**China**

China is estimated to produce 14 000 tpy of zircon sand for domestic consumption[33]. In 1980, the China Metallurgical Import and Export Corporation was reported to be offering nuclear-grade zirconium sponge and other zirconium products[34].

**France**

France is one of the most important exporters of nuclear grade zirconium. French interest in this material goes back to the early 1960s when the Société Industrielle du Zirconium was formed to produce zirconium sponge and ingot[35].

CEZUS, a subsidiary of Pechiney Corporation, makes sponge, billets and Trex (tube-reduced extrusions)[36] from imported zirconium oxide. In 1981, this company brought on-stream a sponge-production facility using a new molten-salt process for separating zirconium from hafnium[37]. Zircotube, another Pechiney subsidiary, makes zirconium alloy tubing for sheathing nuclear fuel at its Paimboeuf plant in northwestern France[38].

In 1979, it was announced that zirconium was one of the materials to be acquired under a proposed French strategic materials stockpile program[39].

**India**

Although zircon sand has been exploited in India since at least 1922[40], local zircon production did not receive its major impetus for growth until the arrival of India's nuclear power program in the 1960s.

There are two principal deposits, at Chavara[41], near Quilon in Kerala state, and at Chatrapur in Orissa, on the Bay of Bengal. Indian Rare Earths Limited, a subsidiary of the Atomic Energy Commission of India has operations at Chavara and at Manavalakurichi[42], a minor deposit in the neighbouring state of Tamil Nadu, Kerala Minerals and Metals Ltd.[43], the country's other zircon producer, also operates in the Chavara area.

A new mineral-sands complex at Chatrapur, owned by Indian Rare Earths Limited, which will ultimately be capable of producing 4 000 tpy of zircon by-product, is not expected to be commissioned before May 1984[44].

India is reported to have produced nuclear-grade zirconium oxide[45] and high-purity zirconium metal at Trombay[46,47].

**Japan**

Japan, Table A-2, produces commercial as well as nuclear-grade zirconium sponge from imported ores and concentrates. In 1982, such imports amounted to some 200 000 t, 80 per cent of which came from Australia.

Japan is a large consumer of zircon sand and flour for foundry, brick and other refractory uses. Japanese use of zircon in ceramics and castings, cement and refractories is growing[48].

Table A-2

Japan, Zirconium Metal and Zirconium-Bearing Alloy Producers and Fabricators

| Company | Annual Capacity |
|---|---|
| **Sponge Producers** | |
| Nippon Mining Co. Ltd.[1] | 150 tonnes |
| Zirconium Industry Co.[2] | 300 tonnes |
| **Zircaloy Tube fabricators** | |
| Kobe Steel Ltd. | 600 000 |
| Mitsubishi Metal Corporation | 600 000 |
| Sumitomo Metal Industries | 100 000 (1977)[3] metres |
| **Zircaloy-Clad fuel fabricators** | |
| Japan Nuclear Fuel Co. Ltd. | |
| Mitsubishi Nuclear Fuel Company[5] | 300 000[4] four-metre units |

[1] Nippon Mining started producing zirconium from zircon sand in August 1980. Previously it used imported hafnium-free oxide and scrap raw material. [2] Owned by Mitsui, Ishizuka and Teledyne Wah Chang (U.S.A.). [3] L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, 1977, Volume I, Metals, Minerals and Fuels", p. 1036. [4] Staff, "Zirconium: Nippon Mining to Produce Sponge from August", Roskill's Letter from Japan, No. 52, August 1980, p.20. [5] Mitsubishi Nuclear Fuel is owned 50 per cent by Mitsubishi Metal Corporation, 35 per cent by Westinghouse Electric Corporation (U.S.A.) and 15 per cent by Mitsubishi Heavy Industries.

Nippon Mining Co. Ltd. has produced commercial-grade zirconium sponge since at least the late 1950s[49]. Capacity appears to be 150 tpy. In August 1980, this company started to produce sponge from zircon sand at a rate of 120 tpy[50]. By 1981, it was supplying nuclear-grade zirconium mill products[51].

In 1971, Mitsui, Ishizuka Research Institute Ltd. and Teledyne Wah Chang formed the Zirconium Industry Co. Ltd., to produce reactor-grade zirconium sponge using Teledyne Wah Chang zirconium oxide as raw material[52,53]. Production was reported at about 300 tpy in 1980[54], but ceased in 1981. The sponge produced by the Zirconium Industry Inc., was exported to the United States for melting and fabrication[55].

In addition to being able to make nuclear-grade sponge production capacity, Japan can also produce nuclear-grade zircaloy fuel cladding for fuel elements. There are three zircaloy fabricators in Japan. Sumitomo Metal Industries of Amagasaki City was reported to have a capacity of 100 000 m of zircaloy fuel cladding per year in 1977, and to be planning to increase capacity to 300 000 m per year by an unspecified date[56]; it has yet to do this. Kobe Steel Ltd. had a reported capacity of 300 000 m of zircaloy fuel cladding per year in 1977, and

planned to increase capacity to 600 000-900 000 m per year during 1980[57]. The company's 1983 capacity is 600 000 m. Mitsubishi Metal Corporation[58] now has a reported annual capacity of 600 000 m of zircaloy fuel cladding at its Okagawa factory. Japan Nuclear Fuel and Mitsubishi Nuclear Fuel are the two nuclear fuel fabricators in Japan[59].

Both Sumitomo Metal Industries and Kobe Steel Ltd., are committed to use the sponge produced by Japanese plants. Mitsubishi Metal Corporation, because of its ties with Westinghouse, will continue to use tubing fabricated in the United States[60].

A large impetus for the additional capacity to produce sponge and fabricate zircaloy tubes in Japan using domestic sponge is due to expectations of a growing role for nuclear power in Japan and due to the greater emphasis on self-sufficiency, particularly in light of delays in obtaining United States permits to import nuclear-grade materials from the United States.

In 1977, it was reported that Sumitomo and Nippon Stainless Steel Co. Ltd. had started to produce zirconium-bearing stainless steel[61]. Japan produces and consumes substantial tonnages of ferrozirconium in its steel industry, particularly for the production of magnets.

Recently, Japan was reported to have developed lower-cost technology to produce zirconium sponge and to be expanding production using the new methods[62,63].

**Republic of South Africa**

South Africa is the world's third largest producer of zirconium concentrates and its most important producer of baddeleyite.

In 1972, Palabora Mining Co. Ltd. (PMC) examined the market potential for baddeleyite produced as a co-product from an open-pit copper mining operation at Phalaborwa[64]. PMC currently produces around 5 000 tpy of baddeleyite in two grades[65]. PMC also has the capacity to produce 2,000 tons of zirconium sulphate per year[66]. In 1979, some 4 452 t of baddeleyite were processed into zirconium chemicals[67].

PMC markets baddeleyite through its subsidiary, Zirconia Sales (Pty) Ltd., whose European and North American agents are Mandoval Vermiculite (Pty) Ltd. and American Vermiculite Corp. of Atlanta, Georgia, respectively, both subsidiaries of the Rio Tinto Zinc Corporation PLC, of London, England[68].

Baddeleyite from the Phalaborwa intrusive is also produced by the South African state-controlled Phosphate Development Corporation Ltd. (FOSKOR). The zirconia content in this company's deposit is about 0.2 per cent[69].

FOSKOR has a current production capacity of 7 200 tpy of baddeleyite in three grades[70]. Its product is marketed through Foskem Pty Ltd. whose agent is Th. Goldschmidt A.G. of West Germany[71]. In 1982, the combined output of FOSKOR and PMC was estimated at 10 000 tpy[72].

In 1974, feasibility studies were carried out to determine the possibility of producing zircon and titanium minerals from beach sands at Richard's Bay, Natal[73]. Production started in 1977[74]; Richards Bay Minerals (a partnership between the QIT-Fer et Titane Inc. [of Canada], the Industrial Development Corporation of South Africa, Union Corporation Ltd., the South African Mutual Life Assurance Society and the Southern Life Association)[75] produces standard as well as ceramic-grade zircon[76,77]. A new dredger and floating concentrator was commissioned in 1982. This may permit output to be increased up to 135 000 tpy[78].

**U.S.S.R.**

Production of zircon in the U.S.S.R. has been estimated at 50 000-75 000 tpy for domestic consumption[79,80]. The U.S.S.R. has a large nuclear-power program and produces sponge to meet its domestic requirements.

In addition to exporting zirconium oxide to the United Kingdom, the U.S.S.R. has been a large supplier of zirconium oxide to the United States.

**United States**

In the United States, deposits of heavy minerals occur along the eastern coastal plain in New Jersey, the Carolinas, Georgia and Florida, along the Mississippi embayment in Tennessee, and also in New York[81].

Zircon is produced in the United States as a co-product of titanium sand mining operations[82]. E.I. Du Pont de Nemours & Co. obtains zircon at Starke and Highland, Florida, while Associated Minerals Consolidated recovers zircon at Green Cove Springs, in the same state[83]. Production capacity in 1980 was estimated in the order of 91 000 tpy[84]. Zircon production statistics are not published in the United States, but production in 1978 and 1979 was estimated to be 85 000 tpy[85]. Four companies produce milled zircon, and six non-metal producers produce zirconium oxide[86]. A number of companies produce refractories, abrasives, welding rods, and zirconium chemicals.

There are two zirconium-metal producers in the United States. Teledyne Wah Chang, the western world's largest producer, which has a capacity of about 2 900 tpy of sponge[87] and Western Zirconium (Westinghouse) which established a plant in 1979 with a capacity of about 1 360 tpy[88]. Because of the depressed state of the nuclear power plant industry in the United States and abroad, estimated total United States production of zirconium sponge in 1980 was only of the order of 1 600 t[89]. Table A-3 summarizes selected aspects of the zirconium industry in the United States.

The United States is an important consumer of zirconium-bearing products. In 1980, it consumed an estimated 131 000 t of zircon and 12 000 t of zirconium oxide[90]. It is also a large importer of zircon concentrates, and a large exporter of zirconium oxide, and zirconium alloys[91].

In 1980, the United States Department of Energy had an inventory of 157 t of zirconium sponge, 886 t of zirconium ingots and shapes, and one tonne of zirconium scrap[92]. There are no stockpile goals for zirconium in the United States at this time[93]. Exports of nuclear-grade zirconium from the United States require a license.

Table A-3

**United States, Producers of Zirconium Materials**

| | |
|---|---|
| **Zircon** | |
| Associated Minerals Consolidated Ltd. | Green Cove Springs, Florida |
| C-E Refractories, Division of Combustion Engineering, Inc. | Camden, New Jersey and Vandalia, Missouri |
| E.I. Du Pont de Nemours & Co., Inc. | Wilmington, Delaware |
| **Milled Zircon** | |
| C-E Cast Industrial Products | Long Beach, California |
| CIBA-GEIGY Corp, Drakenfeld Colors | Washington, Pennsylvania |
| Continental Mineral Processing Corp. | Sharonville, Ohio |
| M & T Chemicals Inc. | Andrews, South Carolina |
| TAM Ceramics | Hightstown, New Jersey |
| **Zirconium-bearing Chemicals** | |
| Associated Minerals Consolidated Ltd. | Bow, New Hampshire (Associated Minerals Consolidated Ltd. [of Australia] group) |
| Carborundum Company | Falconer, New York |
| CIBA-GEIGY Corp., Drakenfeld Colors | Washington, Pennsylvania |
| Ferro Corp. | Cleveland, Ohio |
| Magnesium Elektron Inc. | Flemington, New Jersey |
| Norton Company | Huntsville, Alabama |
| Ronson Metals Corporation | Newark, New Jersey |
| TAM Ceramics | Hightstown, New Jersey |
| Teledyne Wah Chang | Albany, Oregon |
| Transelco, Inc. | Dresden, New York |
| Western Zirconium Inc. | Ogden, Utah |
| ZIRCOA Products | Cleveland, Ohio |
| **Zirconium Metal and Alloys** | |
| Elkem Metals Co. | Alloy, West Virginia |
| Foote Mineral Company | Cambridge, Ohio |

**Table A-3 (Cont'd)**

| | |
|---|---|
| Magnesium Elektron Inc. | Flemington, New Jersey |
| Reading Alloys, Inc. | Robesonia, Pennsylvania |
| Shieldalloy Corp. | Newfield, New Jersey |
| TAM Ceramics | Hightstown, New Jersey |
| Teledyne Wah Chang | Albany, Oregon |
| Thiokol Corp., Ventron Chemicals Division | Beverly, Massachusetts |
| Western Zirconium Inc. | Ogden, Utah |
| **Tubing** | |
| Cartech | El Cajon, California |
| Nuclear Fuel & Special Projects Fabrication (General Electric Co.) | Wilmington, North Carolina |
| Sandvik Special Metals Corporation | Kennewick, Washington |
| Specialty Metals Division (Westinghouse Electric Corp.) | Blairsville, Pennsylvania |
| **Refractories** | |
| Carborundum Company | Falconer, New York |
| C-E Refractories, Division of Combustion Engineering Inc. | St. Louis, Missouri; Camden, New Jersey; and Vandalia, Missouri |
| Corhart Refractories Co. | Buckhannon, West Virginia; Corning, New York; and Louisville, Kentucky |
| Didier-Taylor Refractories Corp. | Cincinatti, Ohio; and South Shore, Kentucky |
| A.P. Green Refractories Co., Remmey Division | Philadelphia, Pennsylvania |
| Harbison-Walker Refractories Company | Mount Union, Pennsylvania |
| Sherwood Refractories Co. | Cleveland, Ohio |
| Sola Basic Industries, Engineered Ceramics Division | Gilberts, Illinois |
| Zedmark, Inc. | Butler, Pennsylvania |
| ZIRCOA Products | Cleveland, Ohio |

Sources: W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Preprint from the 1981 Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 2; V.P. de Poix, "Zirconium: Depression Deepens in U.S. Nuclear Markets", Engineering and Mining Journal, Vol. 183, No. 3, March, 1982, p. 119.

## REFERENCES


[1] Staff, "World Zircon Producers - Australia and U.S.A. Still Dominate", Industrial Minerals, No. 76, Jan. 1974, p. 13.
[2] Australia, Bureau of Mineral Resources, Geology & Geophysics, "Australian Mineral Industry Annual Review, 1979", p. 254-55.
[3] Australia, Bureau of Mineral Resources, Geology & Geophysics, "Australian Mineral Industry Annual Review, 1980", p. 305.
[4] Staff, "Australia", Industrial Minerals, No. 155, Aug. 1980, p. 10.
[5] Ibid, p. 9.
[6] Staff, "Shifting Sands", Industrial Minerals, No. 166, July 1981, p. 7.
[7] B. Coope (ed), "Australia's Industrial Minerals: Developments to Diminish Imports" Industrial Minerals, No. 142, July 1979, Mineral Sands Supplement, p. i.
[8] Staff, "Australia", Industrial Minerals, No. 115, April 1977, p. 9.
[9] Staff, "Australia", Industrial Minerals, No. 111, Dec. 1976, p. 9.
[10] Staff, "Zircon - Towards Oversupply Again", Industrial Minerals, No. 91, April 1975, p. 39.
[11] Australia Bureau of Mineral Resources, Geology & Geophysics, op. cit., p. 292.
[12] Staff, "Mineral Sands - The World Looks to Our Beaches", Australian Mining (Queensland Survey), Vol. 72, No. 3, March 1980, p. 30-32.
[13] J.M. Middleton, "Zircon: Its Application in the Foundry", Industrial Minerals, No. 16, Jan. 1969, p. 29.
[14] Staff, "Zircon in Tiers", Industrial Minerals, No. 137, Feb. 1979, p. 7.
[15] Australia, Department of Trade and Resources, "Australia's Mineral Resources: Mineral Sands", p. 2.
[16] Staff, Industrial Minerals, No. 91, op. cit., p. 33.
[17] Staff, "Zircon Shortage Bites but Ample Supplies of Chromite", Industrial Minerals, No. 76, January 1974, p. 9 and 11.
[18] Ibid.
[19] Staff, Industrial Minerals, No. 91, Ibid.
[20] Staff, "That Zircon Price Again", Industrial Minerals, No. 109, October 1976, p. 49.
[21] Ibid.
[22] Staff, Industrial Minerals, No. 91, op. cit., p. 33-43.
[23] S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1975, Volume I, Metals, Minerals and Fuels," p. 1513.
[24] Ibid.
[25] Australia, Commonwealth/State Joint Study Group on Raw Materials Processing, "Australian Refractories Industry - Potential For Expansion", p. 63.
[26] Staff, "Associated Minerals Consolidated Ltd., Australian Mining, Vol. 73, No. 1, January, 1981, p. 8.
[27] Staff, Pattern of Zircon Use May Change", Industrial Minerals, No. 16, Jan. 1969, p. 9.
[28] Staff, "World Zircon Producers: Australia and U.S.A. Still Dominate", Industrial Minerals, No. 76, January 1974, p. 14-15.
[29] S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1967, Volume I, Metals and Minerals (Except Fuels)", p. 1234.
[30] S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1972, Volume I, Metals and Minerals (Except Fuels)", p. 1343.
[31] Staff, Industrial Minerals, No. 76, Ibid.
[32] W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Preprint from the 1981 Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 8.
[33] W.S. Kirk, Ibid.
[34] W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Preprint from the 1980 Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 9.
[35] F.W. Wessel, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1961, Volume I, Metals and Mineral (except Fuels), p. 1363.
[36] G.R. Couch, "Zirconium - Nuclear Market Will Fuel Demand Growth", Engineering and Mining Journal, Vol. 175, No. 3, March, 1974, p. 135.

[37] W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Preprint from the 1981 Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 9.
[38] Pechiney Corporation, Annual Report for 1980, p. 21.
[39] R.H. Fuller, "Zirconium and Hafnium", Mining Annual Review - 1980, p. 106.
[40] Indian Science News Service, "Titanium and Zirconium: Beach Sand Mining from the Sands of Travancore", Canadian Mining Journal, Vol. 77, No. 7, July 1956, p. 67.
[41] K.V. Poulose, "Heavy Mineral and Glass Sand Deposits of Kerala Coast", Indian Minerals, Vol. 26, No. 1, January-March 1972, p. 119-120.
[42] Staff, "Ilmenite and Rutile", Indian Minerals Yearbook, 1976-77, p. 761.
[43] Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Zirconium, Third Edition, 1980," p. 76.
[44] G.M. Clarke, "The Industrial Minerals of India", Industrial Minerals, No. 191, August 1983, p. 35.
[45] S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1967, Volume 1, Metals and Minerals (except Fuels), p. 1234.
[46] J.G. Parker, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1967, Volume 1, Metals and Minerals (except Fuels), p. 1214.
[47] Staff, "India Pilots Zirconium Metal Plant at Trombay", Nuclear Canada, Vol. 3, No. 7, July-August 1964, p. 6.
[48] Roskill's Letter From Japan, No. 60, April 1981, p. 7.
[49] F.W. Wessel, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook 1961, Volume I, Metals and Minerals (Except Fuels), p. 1363-64.
[50] Roskill's Letter From Japan, No. 54, October 1980, p. 3.
[51] V.P. de Poix, "Zirconium: Nuclear Depression in U.S. Continues to Dampen Market", Engineering and Mining Journal, Vol. 182, No. 3, March 1981, p. 127.
[52] V.P. de Poix, "Zirconium: Growth Rate Suffers Further Setbacks", Engineering and Mining Journal, Vol. 179, No. 3, March 1978, p. 135.
[53] Roskill's Letter From Japan, No. 54, October 1980, p. 3.
[54] Metal Bulletin, No. 6530, October 10, 1980, p. 24.
[55] L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1977, Volume I, Metals, Mineral and Fuels, p. 1036.
[56] L.E. Lynd, op. cit., p. 1036.
[57] Ibid.
[58] Staff, "Zirconium: Manufacturers Rush to Raise Zircalloy Output", Roskill's Letter from Japan, No. 71, March 1982, p. 8.
[59] Staff, "Zirconium: Nippon Mining to Produce Sponge from August", Roskill's Letter from Japan, No. 52, August 1980, p. 20.
[60] Ibid.
[61] P.D.H. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review - 1978, p. 99.
[62] Roskill's Letter from Japan, No. 60, op. cit., p. 1.
[63] Roskill's Letter from Japan, No. 54, op. cit., p. 1-4.
[64] S.G. Ampian (1972), op. cit., p. 1344.
[65] P. Gadsden, "Zirconium and Hafnium," in Mining Annual Review, 1983, p. 89.
[66] Ibid.
[67] Australia, Bureau of Mineral Resources, Geology & Geophysics, "Australian Mineral Industry, Annual Review, 1979", p. 292.
[68] Staff, Industrial Minerals, No. 169, Ibid.
[69] Staff, "On The Trail of Zirconium Oxide", South African Mining and Engineering Journal, Vol. 81, Part 1, No. 4034, May 29, 1970, p. 1089.
[70] Industrial Minerals, No. 169, op. cit., p. 61-62.
[71] Ibid.
[72] P. Gadsden, (1983), Ibid.
[73] S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1974, Volume I, Metals and Minerals (Except Fuels), p. 1408.
[74] L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1978-79, Volume I, Metals, Minerals and Fuels, p. 1030.
[75] Staff, "Richards Bay Sands Yield a Rich Harvest", Coal, Gold + Base Minerals in Southern Africa, Vol. 29, No. 7, July 1981, p. 41.
[76] L.E. Lynd, op. cit., p. 1030.

[77] Staff, "The Impact of Richards Bay (resumed)", Industrial Minerals, No. 150, March 1980, p. 7 and 91.
[78] M.H. MacPherson, "Zircon to the year 2000", 'IM' Refractories Supplement 1983, p. 36.
[79] W.S. Kirk, op. cit., 1981, p. 8.
[80] Roskill Information Services Ltd., op.cit., p. 13.
[81] T.F. Garner, "Heavy Minerals Industry of North America": Preprint from the 4th Industrial Minerals International Congress, Atlanta.
[82] W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1980, Vol. I, Metals and Minerals, p. 914.
[83] Ibid.
[84] Ibid.
[85] R.H. Fuller, "Zirconium and Hafnium" in Mining Annual Review, 1980, p. 106.
[86] W.S. Kirk, op. cit., 1980, p. 914.
[87] R.H. Fuller, op. cit., 1980, p. 106.
[88] W.S Kirk, op. cit., 1980, p. 915.
[89] Ibid, p. 914.
[90] Ibid, p. 915-916.
[91] Ibid, p. 917-919.
[92] Ibid, p. 913.
[93] W.T. Adams, "Zirconium," United States Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries: 1983, p. 176.

## APPENDIX 6

### SELECTED REPORTS ON ZIRCONIUM PREPARED BY ENERGY, MINES AND RESOURCES, CANADA


Boucher, M.A., "Zirconium, 1980", Preprint from the Canadian Minerals Yearbook, 1980, 9 p.

Davidson, A., "Petrochemistry of the Blachford Lake Complex near Yellowknife, N.W.T." in Y.T. Maurice (ed.), "Uranium in Granites," Geological Survey of Canada Paper 81-23, 1982, p. 71-79.

Dutrizac, J.E., "A Comparative Analysis of Athabasca Tar Sand Zircon and Chemical Analysis of Some Other Canadian Minerals", CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-180 (TR), 1978, 15 p.

Dutrizac, J.E., "A Listing of Zirconium and Zirconium-Bearing Minerals", CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-41 (TR), 1978, 16 p.

Lalonde, C.R. and Dalton, J.L., "The Determination of Uranium, Thorium, Hafnium, Iron, Titanium, Calcium and Sulphur in Zircon Sands by X-Ray Fluorescence Analysis", CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MSL-INT 79-36, April 1979, 16 p.

Shank, R.J., "Canada's Dependence on Imported Minerals and Metals - The Issue", Mineral Policy Sector Internal Report MRI 81/7, 1981, 29 p.

Staff, Mineral Policy Sector, "Imported Mineral Raw Materials: Guidelines for Research Policy", Mineral Policy Sector Internal Report 80/8, May 1980. 14 p.

Theis, N.J., "Uranium-Bearing and Associated Minerals in their Geochemical and Sedimentological Context, Elliot Lake, Ontario", Geological Survey Bulletin 304, 1979, 50 p.

## APPENDIX 7

## GENERAL REFERENCES


Alberta, Department of Energy and Natural Resources, "Energy Heritage: Oil Sands and Heavy Oils of Alberta", ENR I/19-1, Edmonton, 1982, 94 p.

Ampian, S.G. "Zirconium and Hafnium" in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems", 1975 Edition, U.S.B.M. Bulletin 667, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1976, 1259 p. 1243-1259.

Carrigy, M.A., "Criteria for Differentiating the McMurray and Clearwater Formations in the Athabasca Oil Sands", Research Council of Alberta, Bulletin 14, 1963, 32 p.

Carrigy, M.A., "Lithology of the Athabasca Oil Sands", Research Council of Alberta, Bulletin 8, 1966, 48 p.

Cheadle, B.A., "Fabrication of Zirconium Alloys into Components for Nuclear Reactors", in A.L. Lowe, Jr. and G.W. Parry (eds.), "Zirconium in the Nuclear Industry", American Society for Testing and Materials, 1977.

Farnworth, F., Jones, S.L. and McAlpine, I., "The Production, Properties and Uses of Zirconium Chemicals", in R. Thompson, (Ed.), Specialty Inorganic Chemicals, London, Royal Chemical Society, 1981, 506 p., p. 248-284.

Gadsden, P., "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review - 1983, London (England), The Mining Journal Limited, 1983, 534 p., p. 89.

Hawley, G.G. (ed.), "The Condensed Chemical Dictionary," Tenth edition, New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1981, 1135 p.

Johnstone, S.J., and Johnstone, M.G., "Minerals for the Chemical and Allied Industries," Second edition, London, England, Chapman and Hall, 1961, 788 p.

Kirk, W.S., "Zirconium and Hafnium" Preprint from the 1981 Bureau of Mines Minerals Yearbook, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 11 p.

MacPherson, M.H., "Zircon to the year 2000", 'IM' (Industrial Minerals) Refractories Supplement 1983, p. 83-88.

Mellon, G.B., "Heavy Minerals of the McMurray Formation", Research Council of Alberta, Report No. 72, 1956, 43 p.

Page, R.D., "Canadian Power Reactor Fuel", Atomic Energy of Canada Limited Publication No. 5609, Mississauga, Ontario, A.E.C.L., 1976, p. 56.

Parry, J. (ed), "Ferro Alloys: A World Survey", London, Metal Bulletin Ltd., 1979, p. 170.

de Poix, V.P., "Zirconium: Outlook Hit by Cancellations of Nuclear Power Plants", Engineering and Mining Journal, Vol. 184, No. 3, March 1983, p. 90-91.

Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Zirconium, Third Edition, 1980", London, Roskill Information Services Ltd., 198 p.

United States Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1983", Washington D.C., U.S. Government Printing Office, 1983, 183 p., p. 176-177.

MR 202

# ZIRCONIUM

[redacted]

BULLETIN MINÉRAL MR 202

# ZIRCONIUM

## UN PRODUIT MINÉRAL IMPORTÉ

OCTOBRE 1983

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste au:

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

Nº de catalogue M38-2/202
ISBN 0-660-528/8-5

Canada: $5.50
à l'étranger: $6.60

Prix sujet à changement sans avis préalable

## RÉSUMÉ

Le présent rapport, le quatrième d'une série préparée pour servir de fondement à l'examen et d'options en matière de politiques de suggestions en vue de réduire la vulnérabilité du Canada à d'éventuelles interruptions de ses approvisionnements en produits minéraux importés, constitue une étude de la position du Canada à l'égard des principaux matériaux de zirconium, tels le zircon, les produits réfractaires à base de zirconium coulés par fusion, les produits chimiques à base de zirconium, le zirconium métal, les alliages-mères de zirconium et les autres alliages de zirconium.

Le Canada ne produit aucun de ces matériaux, si ce n'est l'alumine-zircone fondue, un produit réfractaire destiné uniquement à l'exportation, ainsi que certains alliages de magnésium-zirconium et des aciers à base de zirconium qui sont tous fabriqués à partir de matières premières importées.

La consommation annuelle de zircon sous ses diverses formes se situerait entre 3 000 et 4 000 tonnes (t), le produit étant surtout utilisé en fonderie. D'autres minéraux utilisés aux mêmes fins, notamment la chromite (importée de l'Afrique du Sud), l'olivine (achetée des États-Unis) et, dans une moindre mesure, des sables silicieux, pourraient au besoin remplacer le zircon.

L'industrie aérospatiale utilise des alliages-mères de magnésium-zirconium pour fabriquer des pièces coulées, surtout en Ontario. Le Canada garde constamment en réserve des stocks pour plusieurs mois. Faute de pouvoir disposer de ces matériaux, les industries devraient recourir à d'anciens alliages dont le moulage est plus difficile.

Au Canada, le zirconium trouve sa principale application dans les réacteurs nucléaires de la filière CANDU. Les alliages de zirconium sont un élément essentiel de la composition des gainages des grappes de combustibles. Dans les nouveaux réacteurs, ces alliages entrent dans la fabrication de pièces d'équipement d'importance primordiale comme les tubes de force, les tubes des cuves de réacteurs et les mécanismes de réglage de la réactivité.

S'il fallait que le pays devienne à court d'alliages de zirconium, l'industrie nucléaire du Canada serait vouée à la ruine.

Au nombre de ses mesures d'urgence, l'Ontario Hydro maintient des stocks de grappes de combustibles nucléaires pouvant répondre aux besoins pendant au moins neuf mois.

La vulnérabilité du Canada à l'égard d'interruptions à court terme de ses approvisionnements en combustible nucléaire est amoindrie du fait que le pays dispose d'approvisionnements d'électricité produite par des sources classiques à des coûts plus élevés. Il lui est aussi possible de remettre en service des centrales thermiques gardées en réserve.

On trouve des minéraux à teneur en zirconium dans de nombreux pays, notamment en Australie (zircon), dans la République d'Afrique du Sud (zircon et baddeleyite) et aux États-Unis (zircon). Le Canada importe son zircon surtout de l'Australie et l'Afrique du Sud est le seul fournisseur de baddeleyite du pays. Aucune pénurie n'est actuellement à prévoir pour ces deux matériaux.

Le Canada possède des ressources inexploitées de zirconium que l'on trouve dans les sables bitumineux de l'Athabasca (zircon) et à Strange Lake, le long de la frontière mal définie séparant le Québec de Terre-Neuve (gittinsite).

La France, le Japon et les États-Unis disposent d'un nombre suffisant d'installations de production de métal et d'alliages de zirconium.

Pour l'instant, le gouvernement fédéral n'a à prendre aucune mesure relativement aux approvisionnements de zirconium.

## AVANT-PROPOS

Les Canadiens prennent de plus en plus conscience de l'importance de leur patrimoine minéral. Producteur de quelque soixante produits minéraux, le Canada se classe au troisième rang mondial, après les États-Unis et l'URSS, au point de vue de la valeur et de la diversité de sa production minérale et il est le plus important exportateur de minéraux au monde.

Étant donné que le Canada jouit d'une position privilégiée, non seulement en raison des abondantes ressources minérales qui se trouvent à l'intérieur de ses frontières, mais aussi parce qu'il peut répondre à la majeure partie de ses besoins en minéraux, de nombreux Canadiens seront peut-être surpris d'apprendre que la valeur des importations de minéraux et de produits à base de minéraux s'élève à plusieurs milliards de dollars par année.

Certains de ces produits, tels que le minerai de fer et différents minéraux industriels, sont aussi extraits du sol canadien; d'autres, comme la bauxite, le chrome, le manganèse et la roche phosphatée proviennent uniquement de l'étranger.

Par suite des inquiétudes actuelles relatives à l'instabilité accrue de la situation internationale, le gouvernement prête maintenant davantage attention aux produits minéraux que le Canada doit importer. D'autres pays industrialisés dont la vulnérabilité économique est beaucoup plus grande que la nôtre, en raison de leur degré moindre d'autosuffisance minérale, évaluent aussi plus attentivement leur situation en ce qui concerne les importations de minéraux.

Afin de déterminer la vulnérabilité du Canada face à la pénurie possible d'un certain produit minéral importé, il faut tenter de répondre aux questions suivantes:

- Quels sont les pays d'origine de ce produit minéral?
- Par où passe-t-il pour arriver au Canada?
- Ces circuits d'approvisionnements peuvent-ils être touchés par des perturbations politiques ou autres?
- Que fabriquons-nous avec ce minéral et de quelle quantité en avons-nous besoin pour ce faire?
- Y a-t-il d'autres sources d'approvisionnement?
- Quels sont les matériaux de substitution que l'on peut obtenir au pays ou à l'étranger?
- Quelles mesures faudrait-il prendre afin d'obtenir ce produit minéral d'une autre source ou en vue d'utiliser un produit de remplacement?

En bref: pour le minéral étudié, dans quelle mesure les approvisionnements futurs du pays sont-ils menacés et que devrions-nous faire à ce propos dès maintenant?

Le présent rapport sur le ZIRCONIUM, un métal utilisé surtout comme alliage par l'industrie nucléaire (sous forme de zircon) et comme matériau réfractaire, porte sur l'un des très rares matériaux de base que le Canada doit absolument importer à l'heure actuelle. Ce rapport est le quatrième d'une série visant à évaluer les problèmes possibles d'approvisionnements de certains minéraux non combustibles afin de fournir de l'information générale pour l'établissement d'une politique

gouvernementale portant, entre autres, sur l'orientation de la recherche qui pourrait nous aider à diminuer notre dépendance à l'égard de sources étrangères. Ce thème général des minéraux stratégiques est soulevé par R.J. Shank dans le rapport interne MRI 81/7 du Secteur de la politique minérale, "Dépendance du Canada à l'égard des minéraux et des métaux importés - Questions à l'étude".

Les personnes suivantes du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources ont collaboré à la préparation du rapport: M.C. Campbell, R.K. Collings, J.E. Dutrizac, G.W. Riley et T.A. Wheat (Laboratoires des sciences minérales), W.J.S. Craigen (Bureau de transfert de la technologie), R.K. Buhr et G. Carpenter (Laboratoires de la métallurgie physique), tous membres du personnel du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie; G.A. Gross, D.C. Findlay et G.B. Leech (Division de la géologie économique) de la Commission géologique du Canada; H.E. Thexton (Direction de l'uranium et de l'énergie nucléaire) et W.F. McGarry (Direction de l'électricité) du Secteur des économies d'énergie et des substituts du pétrole; et M.A. Boucher, D.E.C. King, J.R.G.A. Lemieux, T.C. Newman, D.R. Phillips et J. Zwartendyk du Secteur de la politique minérale. Il nous faut aussi remercier I. Itzkowitch, R.J. McClure et E.G. Price de L'Énergie Atomique du Canada, Limitée, qui nous ont fourni des observations très appréciées.

La coordination de l'étude a été assurée par A.B.T. Werner de la Division de la politique des ressources du Secteur de la politique minérale.

Le sous-ministre adjoint
Secteur de la politique minérale
C.G. Miller

## TABLE DES MATIÈRES


| | Page |
|---|---|
| **PARTIE I. PRINCIPAUX SOUS-PRODUITS DU ZIRCONIUM** | 1 |
| Introduction | 1 |
| Minerais et concentrés de zirconium | 1 |
| Produits à base de zircnium coulés par fusion | 3 |
| Produits chimiques à base de zirconium | 3 |
| Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium | 4 |
| Conclusion de la Partie I | 5 |
| Références | 6 |
| **PARTIE II. PRINCIPALES UTILISATIONS DES PRODUITS DU ZIRCONIUM AU CANADA** | 7 |
| Minerais et concentrés de zirconium | 7 |
| Produits à base de zirconium coulés par fusion | 7 |
| Produits chimiques à base de zirconium | 7 |
| Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium | 8 |
| Conclusion de la Partie II | 13 |
| Références | 13 |
| **PARTIE III. SOURCES DES PRODUITS DU ZIRCONIUM AU CANADA** | 14 |
| **A. Au pays** | 14 |
| Minerais et concentrés de zirconium | 14 |
| Produits à base de zirconium coulés par fusion | 14 |
| Produits chimiques à base de zirconium | 14 |
| Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium | 14 |
| **B. A l'étranger** | 14 |
| Concentrés et minerais de zirconium | 14 |
| Produits à base de zirconium coulés par fusion | 15 |
| Produits chimiques à base de zirconium | 15 |

| | Page |
|---|---|
| Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium | 15 |
| Tarifs douaniers | 17 |
| Conclusion de la Partie III | 17 |
| **PARTIE IV. CAPACITÉ MONDIALE D'APPROVISIONNEMENT** | 19 |
| Minerais et concentrés de zirconium | 19 |
| i) Réserves mondiales | 19 |
| ii) Capacité actuelle d'approvisionnement à l'échelle mondiale | 19 |
| iii) Production mondiale au cours des dernières années | 20 |
| iv) Accroissements prévus de la capacité mondiale d'approvisionnement | 20 |
| Produits chimiques à base de zirconium | 22 |
| i) Production mondiale | 22 |
| ii) Accroissements annoncés de la capacité mondiale de production | 22 |
| Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium | 23 |
| i) Capacité mondiale de production | 23 |
| ii) Production mondiale au cours des dernières années | 23 |
| iii) Accroissements possibles de la capacité | 24 |
| Conclusion de la Partie IV | 25 |
| Références | 26 |
| **PARTIE V. AUTRES SOURCES POSSIBLES D'APPROVISIONNEMENT** | 27 |
| Minerais et concentrés de zirconium | 27 |
| i) De producteurs étrangers actuels | 27 |
| ii) De producteurs canadiens possibles | 27 |
| Produits chimiques à base de zirconium | 28 |
| i) De producteurs étrangers actuels | 28 |
| ii) De producteurs canadiens possibles | 28 |
| Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium | 29 |
| i) De producteurs étrangers actuels | 29 |
| ii) De producteurs canadiens possibles | 29 |
| Conclusion de la Partie V | 30 |
| Références | 31 |

| | Page |
|---|---|
| **PARTIE VI. MATÉRIAUX DE REMPLACEMENT** | 33 |
| Minerais et concentrés de zirconium | 33 |
| Produits chimiques à base de zirconium | 34 |
| Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium | 34 |
| Conclusion de la Partie VI | 35 |
| Références | 35 |
| **PARTIE VII. RÉSUMÉ** | 36 |
| Utilisations au Canada | 36 |
| Sources actuelles | 36 |
| Approvisionnements mondiaux | 36 |
| Sources intérieures possibles | 37 |
| Substituts | 37 |
| Stocks | 37 |
| **PARTIE VIII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS** | 38 |
| Conclusion | 38 |
| Recommandations | 39 |
| **ANNEXES** | |
| 1. Équivalent en dollars canadiens du prix affiché de catégories choisies de matériaux à base de zirconium, 1970 à 1981 | 43 |
| 2. Principaux produits chimiques à base de zirconium et leurs principales utilisations | 44 |
| 3. Utilisation du zirconium dans les réacteurs CANDU de 600 MWe et de 850 MWe | 47 |
| 4. Tarifs douaniers canadiens imposés sur les importations de matériaux à base de zirconium | 48 |
| 5. Revue par pays | 51 |
| Australie 51 | Japon 54 |
| Brésil 51 | République d'Afrique du Sud 56 |
| Chine 53 | URSS 56 |
| France 53 | États-Unis 56 |
| Inde 53 | Références 61 |
| 6. Liste de divers rapports sur le zirconium préparés par Énergie, Mines et Ressources Canada, Ottawa | 64 |
| 7. Références générales | 65 |

## TABLEAUX


| | | |
|---|---|---|
| Tableau 1 | Produits à base de zirconium et prix relatifs, 1983 | 2 |
| Tableau 2 | Analyse des matériaux à base de zirconium préparés à partir de concentrés obtenus du minerai extrait de certains gisements du monde | 3 |
| Tableau 3 | Composition des alliages de zirconium ordinaires utilisés par l'industrie nucléaire | 5 |
| Tableau 4 | Alliages de magnésium à teneur en zirconium fabriqués par la Haley Industries Limited, à Haley, en Ontario | 8 |
| Tableau 5 | Fabricants canadiens de pièces d'alliages de zirconium utilisées dans les réacteurs CANDU | 10 |
| Tableau 6 | Centrales électriques dotées de réacteurs à eau lourde pressurisée de la filière CANDU, en exploitation, en construction ou proposées au Canada et à l'étranger | 12 |
| Tableau 7 | Importations de zirconium au Canada, par pays, 1980 à 1982 | 16 |
| Tableau 8 | Principales sources de sous-produits du zirconium du Canada | 18 |
| Tableau 9 | Réserves mondiales de zirconium | 19 |
| Tableau 10 | Capacité nominale de production de zirconium dans le monde (minerais et concentrés) | 20 |
| Tableau 11 | Production mondiale de concentrés de zirconium, par pays, pour certaines années, 1960 à 1982 | 22 |
| Tableau 12 | Capacité de production d'éponge de zirconium des pays de l'Ouest, 1983 | 23 |
| Tableau 13 | Principaux producteurs mondiaux de ferro-alliages de zirconium | 24 |
| Tableau 14 | Production estimative de lingots de zirconium des pays de l'Ouest, de 1975 à 1982 | 25 |
| Tableau 15 | Accroissements envisagés au cours des dernières années de la capacité de production d'éponge de zirconium des pays de l'Ouest | 26 |
| Tableau A-1 | Producteurs australiens de sable et de concentrés de zircon, 1981 | 52 |
| Tableau A-2 | Producteurs et fabricants japonais de zirconium métal et d'alliages de zirconium | 55 |
| Tableau A-3 | Producteurs de matériaux de zirconium aux États-Unis | 58 |

## FIGURES


| | | Page |
|---|---|---|
| 1. | Applications du zirconium dans la fabrication de grappes et de canaux de combustibles des réacteurs de la filière CANDU | 9 |
| 2. | Prévisions de la demande canadienne de produits laminés à partir d'alliages de zirconium pour les réacteurs CANDU (demande étrangère et canadienne) 1982 à 1990 | 11 |
| 3. | Principaux producteurs de concentrés de zirconium, 1981 | 21 |

## PARTIE I. PRINCIPAUX SOUS-PRODUITS DU ZIRCONIUM

### Introduction

Matériau essentiel de l'industrie moderne, le zirconium entre dans la fabrication d'une grande variété de produits comme les noyaux et les garnissages de fonderie, les meules de grande puissance, la porcelaine, les pièces de moteurs d'avions et le gainage du combustible radioactif des réacteurs nucléaires[1].

L'industrie consomme du zirconium sous la forme: de zircon (silicate de zirconium), de baddeleyite (oxyde de zirconium), de produits chimiques à base de zirconium, de zirconium métal et d'alliages de zirconium.

Le tableau 1 donne la liste de certains matériaux à base de zirconium et leurs prix, qui varient entre 115 $ la tonne* de zircon et 374 000 $ la tonne de poudre de zirconium métal. L'évolution des prix antérieurs est présentée à l'annexe 1.

### Minerais et concentrés de zirconium

Constituant un silicate de zirconium-hafnium[2] à l'état naturel, le zircon est le plus important minéral à teneur en zirconium. Même si la roche granitique et la pegmatite renferment des venues de zircon, les gisements rentables sont actuellement limités à des concentrations naturelles dans le sable de plage et d'autres types de sable, où le zircon est associé à différents minéraux lourds comme le rutile et l'ilménite, des minéraux titanifères, et une terre rare, la monazite. La demande de ces sous-produits, surtout celle du rutile, exerce une forte influence sur la rentabilité de la production du zircon.

Les concentrés de zircon de commerce, obtenus par la séparation du zircon des autres éléments constitutifs du sable, sont habituellement d'une teneur minimale de 65 % en oxyde de zirconium.

Le zircon est un important produit réfractaire et matériau de fonderie. Le zircon destiné à la fabrication de garnissages de fonderie ou de produits réfractaires est trié[3] et classifié, en fonction des diverses qualités dont a besoin l'industrie. Le zircon peut également être réduit en farine, qu'on utilise comme additif en moulage et dans le sable à noyaux ou pour la préparation de poteyages de céramique.

Le zircon constitue la matière de base de la fabrication d'un oxyde de zirconium extrêmement pur (la zircone). Il est également la principale substance servant à la réalisation de l'éponge de zirconium, matériau intermédiaire dans la production de lingots de zirconium métal. Le zircon utilisé dans le domaine nucléaire ou pour la fabrication d'autres produits à teneur en zirconium, comme la zircone (préparation de noyaux de fonderie), doit avoir un faible taux de radioactivité. Enfin, la teneur en hafnium du zircon utilisé par l'industrie nucléaire doit être aussi faible que possible. Le tableau 2 montre la teneur en hafnium, en uranium et en thorium de concentrés choisis de zircon et de baddeleyite.

---

Note: Une liste de références est présentée à la fin de chaque partie.
* 300 $ la tonne livrée à une installation canadienne.

**Tableau 1**

**Produits à base de zirconium et prix relatifs, 1983**

| | $ la tonne |
|---|---|
| Zircon, catégorie standard (de fonderie) titrant au moins 65 % de $ZrO_2$, en vrac, f.à b., Australie[1,2] | 115-126 |
| Zircon, traité aux États-Unis, tamis 200 à 325, au wagon, à l'usine, en sacs[3,4] | 306 |
| Hydrure de zirconium, catégorie électronique, en poudre[2], en tonneaux, à l'usine, États-Unis[3,4] | 850-2 050 |
| Baddeleyite, 99 % + $ZrO_2$ + $HfO_2$, tamis 325 et moins, c.a.f., ports de l'Atlantique, États-Unis (1981)[5,6] | 2 200-2 600 |
| Oxyde de zirconium, en poudre, de commerce, en tonneaux, États-Unis, 2 000 livres minimum[3,4] | 850-2 050 |
| Ferrozirconium siliciure de zirconium, en vrac[7] | 26 500 |
| Zirconium, éponge, États-Unis[4,8] | 32 500-46 000 |
| Zirconium, feuilles, feuillards, barres, États-Unis[4,8] | 49 000-109 000 |
| Zirconium, en poudre[4,8] | 136 000-374 000 |

[1] Le personnel, **Minéraux industriels**, n° 191, août 1983, p. 104.
[2] Équivalent du prix en dollars australiens obtenu en utilisant le taux de change affiché dans le **Financial Post**, vol. 77, n° 35, 27 août 1983, p. 28.
[3] Le personnel, **Chemical Marketing Reporter**, vol. 224, n° 8, 22 août 1983, p. 39.
[4] Taux de change affiché dans le **Globe and Mail**, 3 août 1983, p. B-15.
[5] Taux de change affiché dans la **Revue de la Banque du Canada**, juillet 1983, p. S-127.
[6] W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", préimpression du **Minerals Yearbook** de 1981 du Bureau of Mines, p. 5.
[7] Cote d'un fournisseur canadien, 1983-01-26.
[8] Le personnel, **American Metal Market**, vol. 91, n° 147, 29 juillet 1983, p. 7.

Le point de fusion élevé, la grande résistance aux chocs thermiques, l'excellent pouvoir de liaison et l'inertie chimique relativement grande du zircon en font un matériau réfractaire très recherché pour la fabrication des moules, des noyaux de fonderie et des poteyages de céramique. Des briques et d'autres moulages obtenus par pressage et cuisson sont utilisés comme garniture des fours de verre et à métaux non ferreux et comme revêtement intérieur des poches de coulée d'acier. Le zircon entre également dans la fabrication de produits réfractaires d'alumine-zircone-silice (AZS) obtenus par coulée par fusion et par agglomération de profilés réfractaires.

La baddeleyite ($ZrO_2$), un oxyde de zirconium que l'on trouve à l'état naturel (le concentré de commerce titre au moins 97 % de $ZrO_2$ + $HfO_2$), est le deuxième minéral en importance du zirconium. Utilisé dans la préparation de

matériaux d'alumine-zircone (AZ) fondus, la baddeleyite entre également dans la fabrication de produits réfractaires de grande qualité, résistants à la chaleur, ainsi que de composés à base de zirconium. La baddeleyite peut également être utilisée comme substance de base dans la fabrication du zirconium métal[4] ainsi que dans la réalisation d'alliages comme le ferrozirconium et dans la préparation de couleurs de céramique.

**Tableau 2**

**Analyse des matériaux à base de zirconium préparés à partir de concentrés obtenus du minerai extrait de certains gisements du monde**

| | | Poids % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Rapport | | |
| | Matériau | Zr | Hf | Si | Hf/Zr | U | Th |
| Canada (Syncrude) | Zircon | 48,6 | 1,24 | 15,5 | ,0255 | ,031-,042[1] | ,013-,014[1] |
| États-Unis (Floride) | Zircon | 48,2 | 1,12 | 15,4 | ,0232 | ,027-,030 | ,011-,014 |
| Australie | Zircon | 48,2 | 1,23 | 15,1 | ,0255 | ,043 | ,051 |
| Nigéria | Zircon | 42,9 | 3,48 | 12,3 | ,0811 | ,39 | 2,5 |
| Afrique du Sud | Zircon | 48,7 | 1,15 | 15,3 | ,0236 | ,037 | ,015 |
| | Baddeleyite | 73,4 | 1,37 | - | ,0186 | ,10 | ,011 |

Sources: J.E. Dutrizac, "A Comparative Analysis of Athabasca Tar Sand Zircon and Chemical Analysis of Some Other Canadian Zirconium Minerals", Rapport MRP/MSL 78-180 (TR) de CANMET, 1978, p. 9; (uranium et thorium) C.R. Lalonde et J.L. Dalton, "The Determination of Uranium, Thorium, Hafnium, Iron, Titanium, Calcium and Sulphur in Zircon Sands by X-Ray Fluorescence Analysis", Rapport MSL-INT 79-36 de CANMET, p. 9.
[1] Sables bitumineux de l'Alberta

**Produits à base de zirconium coulés par fusion**

i) Alumine-zircone-silice

Des blocs d'AZS coulés par fusion sont utilisés comme garniture des fours à verre. Des produits réfractaires en AZS sont également utilisés comme garniture des fours à bains de sel, des fours à silicate de sodium et des fours de frittage à céramique.[5] Des briques d'AZS agglomérées et autres moulages servent de revêtement des sols des fours à verre.

ii) Alumine-zircone

L'alumine-zircone (AZ) partiellement fondue et obtenue à partir de la baddeleyite sert à la fabrication de meules de grande puissance et d'abrasifs enrobés employés pour ébarber les pièces coulées et pour poncer les brames et les billettes.

**Produits chimiques à base de zirconium**

L'annexe 2 donne la liste des plus importants produits chimiques à base de zirconium[6] utilisés pour la production du zirconium métal et par les industries de la céramique, de l'électricité, de la pétrochimie, des produits pharmaceutiques, du verre, du textile, du cuir et de la peinture.

L'oxyde de zirconium (zircone [$ZrO_2$]), utilisé pour la fabrication du zirconium métal, d'autres produits chimiques à base de zirconium, de l'alumine-zircone (AZ) et de l'alumine-zircone-silice (AZS) très pure, est l'élément le plus en vue du groupe.

La NGK Insulators Ltd. du Japon procède actuellement à la mise au point d'une technique qui lui permettra d'utiliser l'oxyde de zirconium dans un moteur céramique alimenté au diesel[7]. Selon certains, la zircone partiellement stabilisée serait le meilleur produit céramique à utiliser dans les nouveaux modèles de moteur diesel pour chars actuellement mis à l'essai par la Cummins Engine Co. Ltd. de Columbus (Indiana, États-Unis).[8]

**Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium**

En raison de sa forte résistance à la corrosion, le zirconium métal est utilisé comme gainage de récipients et de pièces d'usines de produits chimiques qui emploient, dans leurs différents procédés, certaines substances corrosives comme l'urée, l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, l'hydroxyde de sodium et l'acide nitrique. L'industrie du verre s'en sert également pour fabriquer les joints d'étanchéité des tubes à vide, comme getters dans ces mêmes tubes et pour fabriquer des condenseurs électrolytiques. De minces feuilles et lames filamentées de zirconium entrent également dans la fabrication de flashes.

Le zirconium sert aussi à affiner la dimension du grain de certains alliages et à les rendre propres au moulage. Des alliages-mères de zirconium, dont la teneur en zirconium varie entre 30 et 60 % en poids, entrent dans la production d'alliages de magnésium à teneur en zirconium utilisés pour mouler des éléments de moteurs d'avions. On utilise à cette fin des alliages d'aluminium, de nickel, de cobalt, de molybdène et de columbium pouvant contenir jusqu'à 1 % de zirconium en poids. Les alliages de titanium utilisés par l'industrie aérospatiale peuvent contenir jusqu'à 6 % de zirconium en poids.

Des ferroalliages de zirconium entrent dans la fabrication de certains types d'aciers alliés. Le ferrozirconium et le siliciure de zirconium, contenant entre 12 et 40 % de zirconium, sont utilisés comme agent de désoxydation et agent d'épuration du carbone dans les aciers à base de chrome et pour la fabrication des aimants d'Alnico.

D'autres alliages à base de zirconium, notamment le manganèse-silicium-zirconium, ont déjà servi au traitement de la fonte. Des alliages contenant de 4 à 6 % de zirconium ont permis d'introduire du bore dans l'acier.

Quelques alliages de zirconium (tableau 3) sont utilisés dans les réacteurs nucléaires thermiques en raison de leur grande résistance mécanique, de leur résistance à la corrosion et de leur faible section efficace de capture des neutrons thermiques. Le zircaloy 2 sert à la fabrication de gainage de combustibles des réacteurs à eau chaude et, dans des proportions moindres, des réacteurs à eau lourde,[9] tandis que le zircaloy 4 entre dans la fabrication du gainage du combustible des réacteurs à eau lourde et à eau pressurisée.[10] Le zirconium-niobium est employé dans la fabrication des tubes de force des réacteurs à eau lourde.

---

* Un alliage-mère est un alliage qui renferme un pourcentage élevé d'un ou de plusieurs éléments définis que l'on ajoute à un bain de fusion afin de fournir l'élément souhaité ou d'augmenter son pourcentage.

**Tableau 3**

**Composition des alliages de zirconium ordinaires[1] utilisés par l'industrie nucléaire**

| Élément | Zircaloy 2 | Zircaloy 4 | Zirconium-Niobium |
|---|---|---|---|
| | (concentration, pourcentage en poids) | | |
| Sn | 2,2 à 1,7 | 1,2 à 1,7 | - |
| Fe | 0,07 à 0,20 | 0,18 à 0,24 | - |
| Cr | 0,05 à 0,15 | 0,07 à ,13 | - |
| Ni | 0,03 à 0,08 | - | - |
| Nb | - | - | 2,5 |
| Zr | différence | différence | 97,5 |

Source: J.H. Schemel, "ASTM Manual on Zirconium and Hafnium", p. 23 et 30

[1] Le zircaloy 1 est maintenant un alliage déclassé; le zircaloy 3 n'est pas encore produit à l'échelle commerciale

-: néant

Des cuves de réacteur, appelées communément "calandria", ont été fabriquées au moyen de zirconium-niobium (columbium), de zircaloy 2 et de zircaloy 4.

L'industrie nucléaire a également utilisé, mais en quantités moindres, du magnésium-zirconium, du cuivre-zirconium, du zirconium-niobium (columbium) et du zirconium métal comme gainage du combustible.[11]

L'accroissement du marché des alliages de zirconium est en grande partie déterminé par la politique des différents pays à l'égard de la construction de nouvelles centrales nucléaires. Cependant la consommation de zircaloy à des fins de fabrication de gaines du combustible crée une demande constante parce que le combustible des centrales nucléaires en exploitation doit être remplacé régulièrement.

**Conclusion de la partie 1**

L'industrie utilise cinq principaux groupes de produits à base de zirconium: les concentrés de zircon ou de baddeleyite, les matériaux réfractaires au zirconium coulés par fusion, les produits chimiques à base de zirconium, le zirconium métal, les alliages-mères de zirconium ainsi que d'autres alliages.

Le zircon constitue le matériau de base dans la préparation de la plupart de ces produits. La baddeleyite est utilisée pour obtenir un produit abrasif intermédiaire d'alumine-zircone.

L'alumine-zircone-silice coulée par fusion est recherchée comme garniture des fours à verre tandis que l'alumine-zircone est utilisée dans la fabrication de meules et d'abrasifs enrobés.

Les utilisations des produits chimiques à base de zirconium sont très diversifiées. Outre de servir de matériau intermédiaire au cours de la production du zirconium métal, les industries de la céramique, de matériels électriques, de produits pharmaceutiques, de produits pétrochimiques, du verre, du textile, du cuir et des peintures les utilisent à différentes fins.

Le zirconium métal compte parmi les matériaux utilisés pour produire les pièces résistant à la corrosion dont ont besoin les usines de produits chimiques. Le zirconium métal est surtout utilisé comme matériau de base dans la fabrication de récipients de certains produits comme l'urée, l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, l'hydroxyde de sodium et l'acide nitrique.

Les alliages de zirconium trouvent d'importantes applications dans la fabrication de pièces utilisées par l'industrie aérospatiale et surtout dans la construction de réacteurs nucléaires en raison de leur grande résistance mécanique, de leur excellente résistance à la corrosion et de leur faible section efficace de capture des neutrons thermiques.

## RÉFÉRENCES


[1] Voici la liste des ouvrages généraux de référence consultés au sujet des utilisations du zirconium décrites à la Partie 1: Roskill Information Services Ltd., "Economics of Zirconium", troisième édition, 1980; S.J. Johnstone et M.G. Johnstone, "Minerals for the Chemical and Allied Industries", deuxième édition; et G.G. Hawley (ed.), "The Condensed Chemical Dictionary", 10$^{e}$ édition.

[2] "Zirconium and hafnium are geochemically associated in ... zircon", L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems", édition de 1980, Bulletin 671 du U.S. Bureau of Mines, p. 1045.

[3] J.W. Stamper et E. Chin, "Zirconium", U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, édition de 1970, Bulletin 650 du U.S. Bureau of Mines, p. 827.

[4] Ronson Metals Corporation, "Baddeleyite Concentrate #96", avril 1978, p. 2.

[5] Carborundum Company, "Technical Data Monafrax S-3", s.p.

[6] J.B. Campbell (ed.), "Chemicalweek 1981 Buyers' Guide Issue", p. 704 et 705.

[7] Le personnel, "Ceramic Engines", The Economist, vol. 283, n° 7233, 17 avril 1982, p. 103 et 104.

[8] Le personnel, "Trimming Tank Engines", The Economist, vol. 285, n° 7264, 20 novembre 1982, p. 92 et 95.

[9] Le personnel, "Power Reactors 1980", Nuclear Engineering International, vol. 25, n° 302, juillet et août 1980, supplément, p. 30 à 62.

[10] Ibid.

[11] Ibid.

## PARTIE II. PRINCIPALES UTILISATIONS DES PRODUITS DU ZIRCONIUM AU CANADA

**Minerais et concentrés de zirconium**

L'industrie canadienne utilise différentes qualités de zircon comme le sable, la farine et la farine de catégorie opacifiante. La demande canadienne de sable, de farine de zircon et de silicate de zirconium n'est pas chiffrée officiellement, mais on l'évalue entre 3 000 et 4 000 tonnes par année (t/a).

Les sociétés canadiennes d'acier de première fusion et celles qui produisent du fer, notamment la Canadian Steel Foundries Limited et les Ateliers d'Ingénierie Dominion Limitée, sont les principaux consommateurs de zircon au Canada (2 000 à 3 000 t/a). Le zircon entre dans la fabrication des moules et des noyaux utilisés pour couler le métal. Les Industries Abex Ltée, la Haley Industries Limited et la Dofasco Inc. sont au nombre des autres grands consommateurs de zircon.

La farine de zircon et les peintures au zircon sont utilisées dans des opérations de coulée de pièces de précision et dans le commerce. La Foseco Canada Inc. de Guelph, la William R. Barnes Co. Limited de Waterdown, la société Les Produits de Fonderie Canadiens Limitée de Toronto et la George F. Pettinos (Canada) Limited de Hamilton, toutes trois de l'Ontario, comptent parmi les fabriquants canadiens renommés dans les fournitures de fonderie à base de produits du zircon.

Les fabricants de produits céramiques sont de grands consommateurs de farine de zircon, notamment la Ferro Industrial Products Limited d'Oakville (Ontario) et la Chicago Vitreous (Canada) Limited of Ingersoll (Ontario). La Compagnie Consumers Glass Limitée et la Domglas Inc. se servent de briquettes de zircon agglomérées comme revêtement des sols de leurs fours de fusion à verre.

La Norton Research Corporation (Canada) Ltd. de Niagara Falls (Ontario)[1] utilise de la baddeleyite pour produire de l'alumine-zircone fondue, un produit intermédiaire exporté aux États-Unis servant à la fabrication d'abrasifs.

**Produits à base de zirconium coulés par fusion**

i) Produits réfractaires d'alumine-zircone-silice (AZS)

Les fabriquants canadiens de verre utilisent des agglomérés réfractaires d'alumine-zircone-silice pour garnir les murs de leurs fours ou pour fabriquer des éléments de fours à verre. Les produits réfractaires en AZS au chrome sont utilisés dans des fours à fibre de verre.

**Produits chimiques à base de zirconium**

L'oxyde de zirconium est utilisé pour colorer les émaux et les vernis de céramique. Certaines sociétés de l'industrie nucléaire et des fabricants d'abrasifs l'utilisent à l'état pur alors que l'aciérie canadienne emploie, quant à elle, des buses à base d'oxyde de zirconium. Des durcisseurs au zircone permettent la prise de certaines substances pendant leur cuisson tandis que de petites quantités de zircone entrent dans la fabrication d'appareils de laboratoire.

Des naphténates, des octoates, des linoléates et des tallates de zirconium entrent dans la fabrication des peintures et des vernis.

**Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium**

i) Zirconium métal

Deux fabricants canadiens utilisent des filaments de zirconium métal pour fabriquer des flashes.

Même si aucune donnée officielle n'est publiée sur la consommation de feuilles de zirconium par les fabricants canadiens de flashes, il semblerait que celle-ci diminue avec l'utilisation accrue par des matériels électroniques pour produire une source de lumière artifielle en photographie. Le zirconium en feuille est utilisé en petites quantités comme getter d'oxygène.

ii) Alliages-mères de zirconium

La Chromasco Limitée, la Haley Industries Limited (tableau 4) et la Robert Mitchell Inc. consomment au moins 10 t/a (zirconium contenu) d'alliages-mères de zirconium d'une teneur variant entre 40 et 60 % pour produire des alliages de magnésium à base de zirconium utiles à la préparation de pièces coulées.

De 300 à 400 t de ferro-zirconium ou, selon les prix, de siliciure de zirconium sont utilisées chaque année pour l'élaboration d'aciers à base de zirconium. De la farine de ferrosilicium zirconium entre dans la fabrication de tiges filetées employées en soudure

**Tableau 4**

**Alliages de magnésium à teneur en zirconium fabriqués par la Haley Industries Limited, à Haley, en Ontario**

Composition chimique privilegiée - principaux éléments d'alliages

| Désignation des alliages de de l'American Society for Testing and Materials | Terres rares | Argent | Zinc | Zirconium |
|---|---|---|---|---|
| | | (%) | | |
| EZ33A - T5 | 3,0 | - | 2,5 | 0,6 |
| QE22A - T6 | 2,0 | 2,5 | - | 0,6 |
| ZE41A - T5 | 1,3 | - | 4,2 | 0,7 |

Source: Haley Industries Limited, "Haley Industries Limited", p. 17.
-: néant.

iii) Alliages de zirconium

La Dofasco, une aciérie majeure canadienne, élabore des aciers à base de zirconium utilisés dans la construction et l'industrie automobile.

Les fabricants canadiens de pièces d'équipement aérospatial emploient des alliages de magnésium contenant environ 1 % de zirconium pour couler des boîtes de vitesse, des transmissions et des transmissions d'entraînement à monopoulie destinées à l'aviation[2]. Ces pièces coulées par l'industrie aérospatiale sont, pour la plupart, exportées aux États-Unis et en Europe.

Les alliages de zirconium de qualité nucléaire (tableau 3) utilisés pour la construction des réacteurs nucléaires thermiques sont un élément indispensable des réacteurs CANDU étant donné que ceux-ci n'utilisent que de l'uranium naturel comme combustible et de l'eau lourde à titre de modérateur de neutrons.

Chacunes des barres de combustible d'uranium naturel utilisées dans les réacteurs CANDU (figure 1) sont recouvertes de zircaloy 4 qui les protège des températures élevées qu'atteint l'eau lourde servant de fluide de refroidissement. L'assemblage d'un nombre donné de barres constitue une grappe de combustibles. Un certain nombre de ces grappes baignant dans un fluide de refroidissement sont insérées dans un tube de force de zirconium-niobium qui se trouve séparé du tube des cuves de réacteurs constitué de zircaloy 2 par un gaz isolant.

Le tube de force est séparé du tube des cuves de réacteurs par des bracelets de ressorts de zirconium-niobium contenant 0,5 % de cuivre.

Dans les réacteurs CANDU, les tubes de guidage du mécanisme de contrôle de la réactivité sont également faits d'alliages de zirconium.

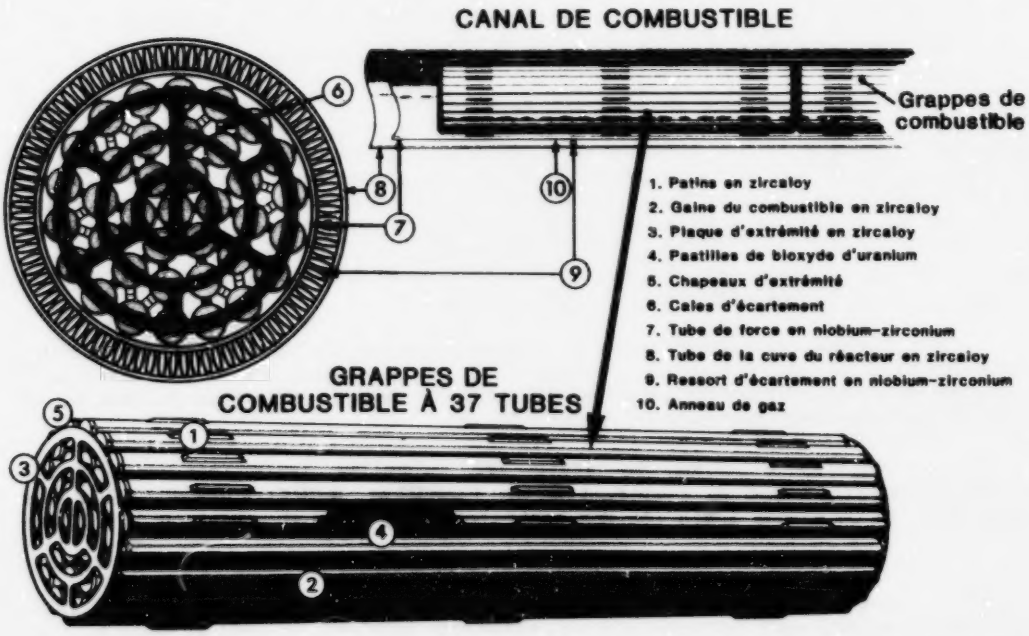
La liste des fabriquants canadiens de pièces de réacteur CANDU se retrouve au tableau 5.

---

* Les tubes de force des réacteurs des centrales de Douglas Point et Pickering A (groupes 1 et 2) étaient en zircaloy 2.

Figure 1

## LES APPLICATIONS DU ZIRCONIUM DANS LES GRAPPES ET LES CANAUX DE COMBUSTIBLE DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES CANDU




Source: Énergie Atomique du Canada, Limitée

Plan de l'usine: CANDU 600

**TABLEAU 5**

**FABRIQUANTS CANADIENS DE PIÈCES D'ALLIAGES DE ZIRCONIUM UTILISÉES DANS LES RÉACTEURS CANDU**

| Société | Endroit | Pièce |
|---|---|---|
| Compagnie Générale d'Energie Électrique du Canada Limitée | Peterborough (Ontario) | Grappes de combustibles<br>Tubes de force |
| Westinghouse Canada Inc. | Port Hope (Ontario)<br>Varennes (Québec) | Grappes de combustibles<br>Grappes de combustibles |
| Combustion Engineering-Superheater Ltd. | Moncton (N.-B.) | Grappes de combustibles |
| Noranda Metal Industries Ltd. | Arnprior (Ontario) | Gainage de combustible |
| Westinghouse Canada Inc. | Port Hope (Ontario) | Gainage de combustible |
| Chase Nuclear (Canada) Ltd. | Arnprior (Ontario) | Tubes de force |
| Westinghouse Canada Inc. | Port Hope (Ontario) | Tubes des cuves de réacteurs |
| Bristol Aerospace Limited | Winnipeg (Manitoba) | Tubes des cuves de réacteurs |

Source: M.A. Boucher, "Zirconium", Annuaire canadien des minéraux, 1980, p. 613.

D'après les données de l'annexe 3, on estime que la construction du coeur d'un réacteur de 600 MWe nécessiterait environ 36 t de zirconium de qualité nucléaire (équivalent à environ 52,5 t d'éponge de zirconium). Il faudrait pour la fabrication des tubes de force, des tubes de cuves de réacteurs et des mécanismes de contrôle de la réactivité respectivement 35, 9,5 et 2 t sans compter les 11,5 t de zirconium nécessaires au gainage du combustible et à l'assemblage des grappes de combustibles.

La construction des réacteurs CANDU fait appel à beaucoup plus de zirconium que tout autre modèle de réacteur.

La consommation annuelle de zirconium aux fins de fabrication des grappes de combustibles se chiffrerait à quelque 13 t de zirconium de qualité "réateur" (équivalent à environ 21,6 t d'éponge de zirconium). Dans tous les cas ci-dessus, le zirconium utilisé n'est pas recyclable.

Le tableau 6 donne la liste des centrales CANDU actuellement en exploitation ou en cours de construction au Canada et à l'étranger. Selon les estimations, la puissance installée des centrales CANDU atteindra environ 13 000 MWe

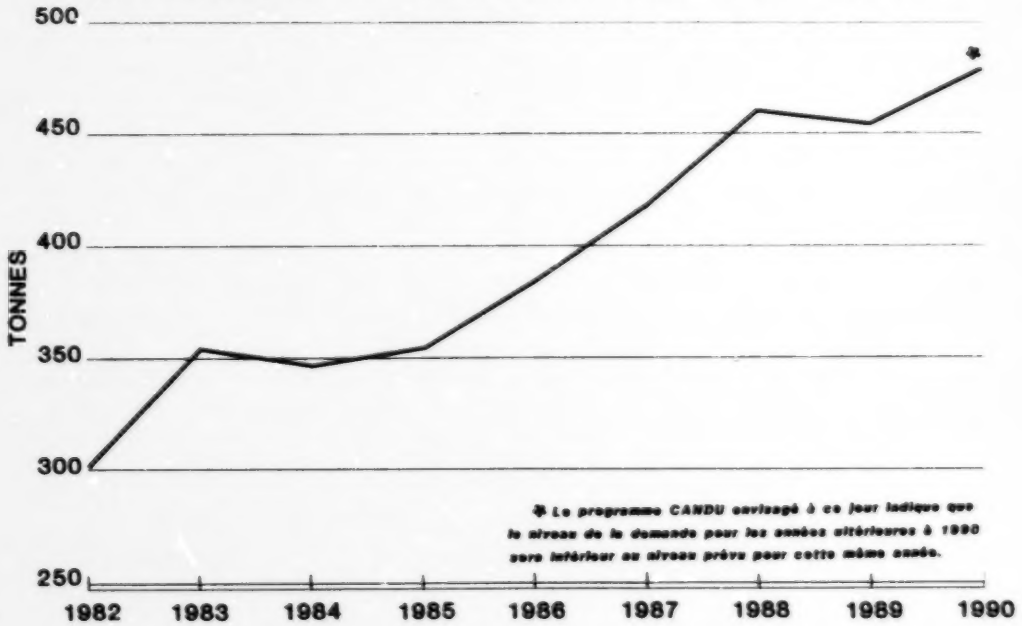
au Canada, seulement d'ici 1990. Les centrales nucléaires fournissent actuellement 31 % de la production d'électricité de l'Ontario Hydro. Quelques alliages de zirconium sont utilisés dans la fabrication des réacteurs canadiens à eau légère[3].

La figure 2 montre la demande canadienne de produits laminés au zirconium nécessaires à la construction et à l'exploitation des réacteurs canadiens et à la réalisation des contrats de fournitures passés avec des pays étrangers. En 1990, la demande totale de produits devrait être légèrement supérieure à 475 t.

À moins qu'on ne prenne d'autres engagements concernant de nouvelles ventes à l'étranger ou la construction de nouveaux réacteurs canadiens, la demande de zirconium devrait être surtout due, après 1990, au taux de remplacement des grappes de combustibles épuisés des centrales de notre pays. Puisque les coûts du zirconium contenu dans des éléments de combustible ne représentent qu'une fraction des frais généraux d'exploitation des réacteurs, on peut penser que la consommation demeurera insensible aux fluctuations des prix des alliages de zircon ou de zirconium.

Figure 2

## CANADA: PRÉVISION DE LA DEMANDE DE PRODUITS USINÉS D'ALLIAGE AU ZIRCONIUM POUR L'ALIMENTATION DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES DE TYPE CANDU (INTÉRIEURE ET EXPORTATION) 1982-1990




**Source : L'Ontario Hydro, février 1982.**

**Nota: Peu importe l'année en question, la demande représente en majeure partie celle de l'Ontario. À partir de 1985, les prévisions sont basées sur la construction d'une installation nucléaire CANDU à tous les deux ans.**

**Tableau 6**

**Centrales électriques dotées de réacteurs à eau lourde pressurisée de la filière CANDU, en exploitation, en construction ou proposées au Canada et à l'étranger**

| CENTRALE | ENDROIT | PRODUCTION NETTE D'ÉNERGIE MWe | DATE DE MISE EN PRODUCTION (PRÉVUE) |
|---|---|---|---|
| NPD 2 | Ontario | 22 | 1962 |
| Douglas Point | | 206 | 1968 |
| Pickering A 1 | | 515 | 1971 |
| Pickering A 2 | | 515 | 1971 |
| Pickering A 3 | | 515 | 1972 |
| Pickering A 4 | | 515 | 1973 |
| Bruce A 1 | | 740 | 1977 |
| Bruce A 2 | | 740 | 1977 |
| Bruce A 3 | | 740 | 1978 |
| Bruce A 4 | | 740 | 1979 |
| Gentilly 2 | Québec | 638 | 1983 |
| Pointe Lepreau | Nouveau-Brunswick | 635 | 1983 |
| Pickering B 5 | Ontario | 516 | 1983 |
| Pickering B 6 | | 516 | 1983-5(1984) |
| Pickering B 7 | | 516 | (1985) |
| Pickering B 8 | | 516 | (1985) |
| Bruce B 5 | | 750 | (1985) |
| Bruce B 6 | | 750 | (1984) |
| Bruce B 7 | | 750 | (1986) |
| Bruce B 8 | | 750 | (1987) |
| Darlington 1 | | 881 | (1988) |
| Darlington 2 | | 881 | (1989) |
| Darlington 3 | | 881 | (1991) |
| Darlington 4 | | 881 | (1992) |
| | | 15 109 | |
| KANUPP | Pakistan | 125 | 1972 |
| RAPP 1 | Inde | 200 | 1973 |
| RAPP 2 | " | 200 | 1981 |
| Cordoba | Argentine | 600 | (1983) |
| Wolsung 1 | Corée | 629 | (1983) |
| Cernavoda 1 | Roumanie | 629 | (198-) |
| Cernavoda 2 | " | 629 | (198-) |

Sources: Énergie, Mines et Ressources Canada; M.A. Boucher, "Zirconium", Préimpression de l'Annuaire des minéraux du Canada, 1980, p. 7 et 8; le personnel de l'Ontario Hydro, "Ontario Hydro Sets Back Plans", The Globe and Mail, 16 novembre 1982, p. B-7.

**Conclusion de la Partie II**

Les aciéries et les fonderies canadiennes sont les plus grands consommateurs de zircon qu'elles utilisent pour produire des moules et des noyaux servant à couler des métaux. La farine de zircon est utilisée dans la céramique et pour réaliser des poteyages.

La baddeleyite dont la teneur en oxyde de zirconium est plus élevée que celle du zircon entre dans la fabrication de l'alumine-zircone, un produit intermédiaire exporté aux États-Unis où il est transformé en abrasifs.

Le Canada utilise des produits à base de zirconium coulés par fusion comme garniture des fours à verre et comme blindage pour la coulée en continu dans les usines d'acier et de métaux non ferreux.

L'aciérie et les fabricants de peintures et de vernis utilisent des produits chimiques à base de zirconium.

Le zirconium métal entre dans la fabrication des flashes. Des alliages de zirconium, dont la consommation est monétairement la plus importante au Canada, sont utilisés pour la fabrication d'aciers, les coulées de pièces d'aviation et la construction de noyaux des réacteurs nucléaires.

L'emploi d'alliages de zirconium dans l'industrie nucléaire constitue de loin la plus importante application pour les matériaux à base de zirconium au Canada. En effet, les alliages de zirconium très purs sont essentiels à la filière CANDU. Si ces alliages venaient à manquer, l'industrie nucléaire canadienne telle qu'elle existe aujourd'hui s'effondrerait.

**RÉFÉRENCES**


[1] Le personnel, "Exolon and Norton Companies No Longer Need CCEA Licence", Communiqué de presse 81-26 de la Commission de contrôle de l'énergie atomique, 16 décembre 1981, p. 1.

[2] P. O'Connor, "Haley Moves Into High Gear", Canadian Business, vol. 54, n° 12, décembre 1981, p. 39.

[3] M.L. Taylor, "Gentilly-Commissioning and Early Operation"", Nuclear Engineering International, vol. 17, n° 198, novembre 1972, p. 929 à 933.

## PARTIE III. SOURCES DES PRODUITS DU ZIRCONIUM AU CANADA

### A. AU PAYS

**Minerais et concentrés de zirconium**

Même s'il a déjà extrait de faibles quantités de zircon à des fins d'évaluations techniques et commerciales, le Canada ne produit pas actuellement de zircon ni de baddeleyite. Par ailleurs, toute la farine de zircon consommée au Canada est bocardée de l'étranger.

**Produits à base de zirconium coulés par fusion**

Le Canada qui ne produit pas actuellement d'alumine-zircone-silice prépare cependant de l'alumine-zircone à partir de baddeleyite importée. Toute la production canadienne d'alumine-zircone est exportée aux États-Unis où elle sert à la fabrication d'abrasifs.

**Produits chimiques à base de zirconium**

Pour autant qu'on sache, le Canada ne produit pas actuellement de produits chimiques à base de zirconium.

**Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium**

Le Canada ne produit pas de quantités commerciales de zirconium métal.

Des alliages-mères de magnésium-zirconium ont déjà été préparés au Canada mais toute production a cessé depuis deux ans.

La Haley Industries Limited de Haley Station, en Ontario, produit une gamme d'alliages de magnésium à base de zirconium en utilisant du magnésium canadien et des alliages-mères de zirconium-magnésium importés. Les alliages préparés par la Haley servent à couler des pièces utilisées par l'industrie aérospatiale (tableau 4).

La Dofasco Inc. de Hamilton, en Ontario, produit un acier contenant jusqu'à 10 % de zirconium en utilisant comme matériau de base du fer canadien, du siliciure de zirconium ou du ferrozirconium importé.

Au début des années 70, l'Eldorado Nucléaire Limitée a produit des alliages de zirconium pour répondre aux besoins de son programme de construction de réacteurs CANDU. La société a maintenant délaissé ce champ d'activité.

Des pièces de réacteurs CANDU sont produites par un certain nombre de fabricants canadiens à partir de zircaloys et de zirconium-niobium importés (tableau 5).

L'Ontario Hydro maintient un stock de neuf mois environ de grappes de combustibles de zircaloy gainé.

### B. A L'ÉTRANGER

**Concentrés et minerais de zirconium**

Tout le zirconium et toute la baddeleyite que consomme le Canada proviennent de l'étranger. Le tableau 7 montre les quantités et les sources de provenance des minerais et des concentrés de zirconium qu'achète le Canada.

L'Australie est notre plus important fournisseur. Il n'existe aucune statistique distincte concernant le sable de zircon et la farine de zircon, mais on pense que nos importations d'Australie nous proviennent presque totalement sous forme de sable de zircon.

Le sable de zircon que le Canada importe est en grande partie (équivalent à toutes ses importations de sable de zircon d'Australie en 1981 et à la moitié en 1982) réexporté vers les États-Unis où il est transformé en farine de zircon. Une partie de cette farine de zircon est ensuite réacheminée vers le Canada.

Il semble qu'environ 33 % (1981) et 50 % (1982) des importations canadiennes de sable et de farine de zircon et 65 % (1982) des importations de silicate de zirconium provenant des États-Unis soient constituées de sable traité acheminé aux États-Unis à partir de l'Australie (via le Canada ou peut-être d'un autre pays).

Une certaine quantité de zircon représentant possiblement 10 % de la consommation canadienne provient de l'Afrique du Sud (via les États-Unis)[1]. Des quantités moindres de minerais et de concentrés de zirconium ont été importées de la Malaysia et de la France.

Il n'est nulle part fait état des quantités de minerais et de concentrés de zirconium que le Canada garde en réserve. Cependant du zircon en vrac est entreposé dans la région du Niagara, en Ontario, tandis que du zircon importé d'Afrique du Sud est gardé en réserve à Cincinnati, en Ohio.

Le Canada importe de la République de l'Afrique du Sud de la baddeleyite légèrement radioactive. Avant le 31 janvier 1982, les importateurs de baddeleyite devaient au préalable obtenir des permis d'importation. Aucune statistique n'a été publiée sur ces importations.

**Produits à base de zirconium coulés par fusion**

Aucune statistique n'est actuellement publiée sur les importations canadiennes d'alumine-zircone-silice (AZS) ou sur les produits à base d'alumine-zircone (AZ). Cependant, la plupart des agglomérés réfractaires d'AZS utilisés dans le matériel de fabrication du verre et de l'acier sont d'origine étrangère et proviennent principalement des États-Unis.

**Produits chimiques à base de zirconium**

Le peu de données (tableau 7) sur les importations canadiennes de produits chimiques à base de zirconium indiquent quand même que les États-Unis occupent le premier rang des fournisseurs de ces produits. Les importations de produits chimiques à base de zirconium sont surtout constituées de silicate de zirconium puis d'oxydes de zirconium. Jusqu'à maintenant, peu de renseignements ont été publiés sur les autres produits chimiques importés consommés au Canada comme l'hydroxyde, le peroxyde et le carbure. Outre les États-Unis, certains autres pays comme le Royaume-Uni sont également fournisseurs de produits chimiques à base de zirconium[4].

**Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium**

Le tableau 7 indique la quantité et les sources du zirconium métal et des alliages importés par le Canada en 1979, 1980 et 1981.

Les approvisionnements canadiens d'alliages-mères de zirconium-magnésium sont fournis par la CEZUS de France, la Magnesium Elektron Ltd. du Royaume-Uni, une filiale de la British Alcan Aluminium Ltd. (Alcan) et la Teledyne Wah Chang des États-Unis.

**Tableau 7**

**Importations de zirconium au Canada, par pays, 1980 à 1982**

| | 1980 | | 1981 | | 1982 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | t | milliers de $ | t | milliers de $ | t | milliers de $ |
| Sable et farine de zircon[1,2] | | | | | | |
| Australie | 25 574 | 2 404 | 21 017 | 2 556 | 14 731[1] | 2 021 |
| États-Unis | 1 955 | 537 | 1 599 | 478 | 660[2] | 249 |
| Total | 27 529 | 2 941 | 22 616 | 3 034 | 15 441 | 2 270 |
| Oxydes de zirconium | | | | | | |
| France | - | - | - | - | 18 | 137 |
| États-Unis | 64 | 101 | 13 | 76 | 3 | 21 |
| Total | 64 | 101 | 13 | 76 | 21 | 158 |
| Silicate de zirconium[3] | | | | | | |
| Australie | 35 | 17 | 31 | 26 | - | - |
| États-Unis | 921 | 558 | 1 270 | 669 | 866[3] | 569 |
| Autres pays | - | - | - | - | 10 | 8 |
| Total | 956 | 575 | 1 301 | 695 | 876 | 577 |
| Alliages de ferrozirconium | | | | | | |
| France | 54 | 92 | 89 | 176 | 282 | 551 |
| États-Unis | 179 | 348 | 232 | 515 | 191 | 412 |
| Total | 232 | 440 | 322 | 691 | 473 | 963 |
| Zirconium, sous forme primaire et matériaux ouvrés | kg | | kg | | kg | |
| Belgique - Luxembour | - | - | - | - | 998 | 20 |
| France | 581 | 33 | 3 000 | 26 | - | - |
| Afrique du Sud | - | - | 20 000 | 35 | - | - |
| États-Unis | 48 096 | 2 794 | 50 402 | 2 423 | 49 106 | 2 814 |
| Allemagne de l'Ouest | - | - | - | - | 9 230 | 1 389 |
| Total | 48 677 | 2 827 | 73 402 | 2 484 | 59 334 | 4 223 |
| Alliages de zirconium | | | | | | |
| France | 38 792 | 1 977 | 67 614 | 3 491 | 24 046 | 1 198 |
| Suède | - | - | - | - | 44 | 3 |
| Royaume-Uni | - | - | - | - | 19 449 | 95 |
| États-Unis | 190 661 | 11 305 | 221 060 | 12 637 | 190 271 | 15 755 |
| Allemagne de l'Ouest | - | - | - | - | 8 757 | 1 478 |
| Total | 229 453 | 13 282 | 288 674 | 16 128 | 242 567 | 18 529 |

Source: Statistique Canada, "Importations - Commerce de marchandises", publication annuelle n° 65-207, dans sa forme modifiée.

-: néant

[1] En 1981, le sable de zirconium réexporté par le Canada était l'équivalent (en volume) des importations de sable de zirconium de l'Australie. En 1982, cela équivalait à 50 % des importations en provenance de l'Australie.

[2] Il semblerait qu'en 1981, environ 33 % des importations canadiennes de sable et de farine de zircon en provenance des États-Unis aient été constituées de sable de zirconium traité qui avait été importé de l'Australie. Ces importations de sable et de farine de zircon seraient passées à 50 % en 1982.

[3] Il semblerait qu'environ 65 % des importations canadiennes de silicates de zirconium fournies par les États-Unis en 1982 étaient constituées de sable de zirconium traité qui a d'abord été importé de l'Australie.

La Magnesium Elektron Inc. a constitué dans la région de Montréal des stocks qui devraient normalement lui permettre de satisfaire à la demande d'alliages-mères de magnésium-zirconium durant quelques mois.

Les États-Unis, par l'entremise de l'Union Carbide du Canada Limitée (ou ses agents), de la Reactive Metals & Alloys Corporation of West Pittsburg, Pennsylvania, et de la A. Johnson & Co., Inc. Lionville, Pennsylvania (ferrozirconium seulement) sont le principal fournisseur de ferrozirconium et de siliciure de zirconium du Canada.

Les États-Unis et la France sont les principaux fournisseurs des produits de première fusion et des matériaux ouvrés à base de zirconium et d'alliages de zirconium consommés au Canada. La Teledyne Wah Chang des États-Unis est un important fournisseur de zircaloys.

**Tarifs douaniers**

L'annexe 4 donne la liste des tarifs douaniers que le Canada impose sur les importations de matériaux à base de zirconium.

**Conclusion de la Partie III**

Comme il est indiqué au tableau 8, le Canada dépend totalement de l'étranger pour assurer ses approvisionnements de sous-produits du zirconium. L'alumine-zircone, un produit intermédiaire que le Canada fabrique à partir de baddeleyite importée, est ensuite exportée aux États-Unis où elle entre dans la fabrication d'abrasifs.

Le Canada importe la plus grande partie de ses approvisionnements de zircon de l'Australie. Une part importante du volume d'importation du zircon est ensuite réexportée aux États-Unis où il est transformé en farine de zircon (une part équivalente à 100 % des importations d'Australie en 1981 et à 50 % de celles de 1982).

Les États-Unis sont le principal fournisseur de farine de zircon et de silicate de zirconium du Canada (une bonne partie de cette farine est produite aux États-Unis à partir de zircon importé de l'Australie via le Canada).

L'Afrique du Sud fournit (via les États-Unis) possiblement 10 % des approvisionnements canadiens de zircon ainsi que le peu de baddeleyite consommée au pays.

Les États-Unis constituent, pour le Canada, la principale source d'approvisionnement de produits du zirconium partiellement fondus et de produits chimiques à base de zirconium.

Du zirconium métal, des alliages-mères de zirconium et d'autres alliages de zirconium sont importés des États-Unis, de la France et du Royaume-Uni. L'un des importateurs canadiens, la Magnesium Elektron Inc., maintient des stocks d'alliages-mères de magnésium-zirconium à des niveaux lui permettant de répondre normalement à la demande durant quelques mois.

Selon certains rapports, l'Ontario Hydro disposerait d'un stock de neuf mois environ de grappes de combustibles de zircaloy gainé.

**Tableau 8**

**Principales sources de sous-produits du zirconium du Canada**

| | Au pays | À l'étranger |
|---|---|---|
| A. Zircon et baddeleyite | néant | Zircon: Australie<br>Baddeleyite: Afrique du Sud |
| B. Farine de zircon, silicate de zirconium | néant | États-Unis |
| C. Produits chimiques à base de zirconium | néant | États-Unis,<br>Royaume Uni |
| D. Zirconium métal, alliages-mères et autres alliages | Alliages au magnésium moulables fabriqués à partir d'alliages-mères de magnésium-zirconium importés | États-Unis, France, Royaume-Uni, Afrique du Sud |
| E. Produits à base de zirconium partiellement fondus | | |
| a) Produits intermédiaires | i) AZ produite au Canada à partir de baddeleyite importée | i) néant |
| | ii) AZS: néant | ii) néant |
| b) Produits finis (contenant de l'AZ ou de l'AZS) | néant | États-Unis |

## PARTIE IV. CAPACITÉ MONDIALE D'APPROVISIONNEMENT

### Minerais et concentrés de zirconium

i) Réserves mondiales

La distribution des réserves mondiales estimées de zirconium est donnée au tableau 9, telle que rapportée en 1980. On présume que ces chiffres représentent des ressources exploitables, bien connues dans l'ensemble. Les principales réserves sont situées en Australie, soit 29 % de toute la capacité mondiale et dans la République de l'Afrique du Sud qui en compte 22 %. Les États-Unis et l'Inde détiennent chacun environ 14 % des réserves totales déclarées.

ii) Capacité actuelle d'approvisionnement à l'échelle mondiale

En 1981, la capacité totale d'approvisionnement en minerais et en concentrés de zircon des pays de l'Ouest était évaluée à 770 000 t/a[1]. Cette capacité d'approvisionnement a beaucoup augmenté entre 1973 et 1978[2], principalement dans la République de l'Afrique du Sud. La capacité de production de l'Australie et des États-Unis a diminué par rapport au pourcentage de la capacité mondiale tandis que celle de l'Afrique du Sud a augmenté. Cette tendance devrait se maintenir. Quoi qu'il en soit, l'Australie conservera probablement la plus grande capacité absolue de production de zircon dans un avenir qu'il est encore possible d'évaluer (tableau 10).

Presque toute la capacité de production de la baddeleyite est détenue par l'Afrique du Sud. La capacité annuelle de production de la Phosphate Development Corporation Ltd. (FOSKOR) est évaluée à 7 200 t[3] alors que celle de la Palabora Mining Co. Ltd. est censée être supérieure à 5 000 t/a[4].

Une certaine roche appelée "caldasite" surtout constituée de baddeleyite ou d'un mélange de zircon et d'orvillite (silicate de zirconium hydraté) est exploitée en faibles quantités dans le district de Poços de Caldas dans la région de Minas Gerais, au Brésil[5].

**Tableau 9**

**Réserves mondiales de zirconium[1,2]**

| | Teneur en zirconium[3] | |
|---|---|---|
| | (t) | (%) |
| Australie | 7 257 000 | 28,9 |
| Brésil | 907 000 | 3,6 |
| Inde | 3 629 000 | 14,4 |
| Madagascar | 91 000 | 0,4 |
| Malaysia et Thaïlande | 91 000 | 0,4 |
| Sierra Leone | 454 000 | 1,8 |
| Afrique du Sud | 5 443 000 | 21,7 |
| Sri Lanka | 907 000 | 3,6 |
| URSS | 2 722 000 | 10,8 |
| États-Unis | 3 629 000 | 14,4 |
| Total dans le monde (arrondi) | 25 130 000 | 100,0 |

Source: L.E. Lynd, "Zirconium et Hafnium: A chapter from Mineral Facts and Problems", édition de 1980, Préimpression du Bulletin 671 du U.S. Bureau of Mines, p. 3 [1] D'après la teneur en zirconium. [2] À l'exception de la Chine. [3] À l'état naturel le zircon $(Zr, Hf)SiO_4$ contient environ 50 % de zirconium (Zr).

**Tableau 10**

**Capacité nominale de production de zirconium dans le monde (minerais et concentrés)[1]**

| Région | Capacité | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1979 | | Estimés 1985 | (Estimés) |
| | (t/a) teneur en $Zr^2$ | (%) | (t/a teneur en $Zr^2$) | (%) |
| Australie | 235 900 | 59,1 | 272 200 | 58,5 |
| Brésil | 3 600 | 0,9 | 4 500 | 1,0 |
| Chine (continent) | 5 400 | 1,4 | 7 300 | 1,6 |
| Inde | 8 200 | 2,0 | 9 100 | 1,9 |
| Malaysia | 1 800 | 0,5 | 2 700 | 0,6 |
| Afrique du Sud | 45 400 | 11,4 | 63 500 | 13,7 |
| Sri Lanka | 2 700 | 0,7 | 3 600 | 0,8 |
| URSS | 37 200 | 9,3 | 38 100 | 8,2 |
| États-Unis | 59 000 | 14,7 | 63 500 | 13,7 |
| Total (arrondi) | 399 200 | 100,0 | 464 500 | 100,0 |

Source: L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium" du U.S. Bureau of Mines "Mineral Facts and Problems, 1980", **Bulletin 671 du U.S. Bureau of Mines p. 1047.**
[1] Teneur estimative en zirconium des minerais et concentrés. [2] À l'état naturel le zircon $(Zr, Hf)SiO_4$ contient environ 50 % de zirconium (Zr)

iii) Production mondiale au cours des dernières années

Le tableau 11 et la figure 3 donnent la liste des principaux producteurs mondiaux de concentrés de zirconium. L'Australie se classe au premier rang des producteurs de l'Ouest. Cependant la République de l'Afrique du Sud est en voie de devenir un producteur de plus en plus important.

Aucune statistique n'est habituellement divulguée sur la production des États-Unis afin de protéger les données confidentielles des sociétés. La production du début des années 80 est cependant évaluée à environ 90 000 t/a[6].

Les pays à économie centralisée ne fournissent aucun chiffre officiel sur leur production. Toutefois, la production de l'URSS et celle de la République populaire de Chine sont respectivement évaluées à environ 75 000 t/a et 14 000 t/a de sable de zircon[7].

La production mondiale de baddeleyite est relativement faible comparativement à celle du zircon. La production totale de l'Afrique du Sud est de l'ordre de 10 000 t/a[8].

L'annexe 5 donne un aperçu de la production par pays.

iv) Accroissements prévus de la capacité mondiale d'approvisionnement

Aucun nouveau projet important d'accroissement de la capacité de production de zircon n'a été annoncé dernièrement. Les niveaux de production devraient se maintenir en fonction de la demande de co-produits minéraux du zircon, soit le titanium.

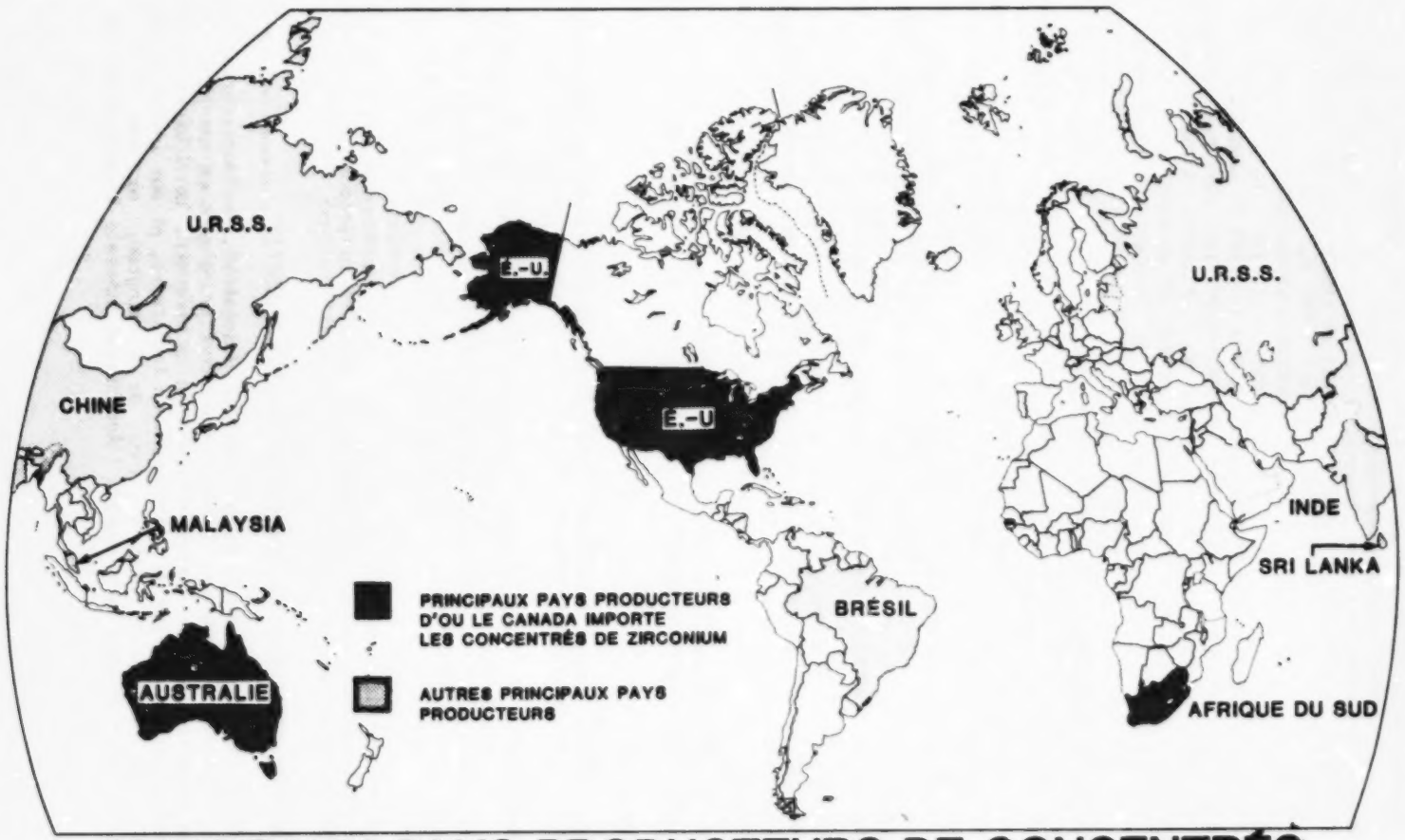



Figure 3

# PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS DE CONCENTRÉS DE ZIRCONIUM, 1981

**Tableau 11**

**Production mondiale[1] de concentrés de zirconium, par pays, pour certaines années, 1960 à 1982**

| | 1960 | 1970 | 1980P | 1981e | 1982e |
|---|---|---|---|---|---|
| Australie | 104 004 | 385 465 | 491 546 | 424 562 | 339 287 |
| Brésil | 5 768[2] | 4 067 | 3 993 | 3 992 | - |
| Inde[3] | 9 | 6 939 | 14 787[4] | 14 969[4] | 11 793 |
| Malaysia | 57 | 860[5] | 454[5] | 599[5] | - |
| Afrique du Sud | 6 682 | 392[6] | 79 832 | 99 790 | 79 832 |
| Sri Landa | - | 112 | 3 031 | 3 202 | - |
| Thaïlande | - | 865 | 61 | 50 | - |
| États-Unis | nd | nd | 70 000e | 92 500 | 100 000 |
| Autres pays | 12 844[7] | 3[8] | - | 8 165 | 6 532 |
| Total | 129 364 | 398 703 | 663 644 | 555 170 | 537 444 |

Sources: S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, **Minerals Yearbook, 1972, Volume I, Metals, Minerals and Fuels"**, p. 1343; J.G. Parker, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, **Minerals Yearbook**, 1964, Volume 1, **Metals and Minerals (Except Fuels)**, p. 1214; W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", **Préimpression du 1981 Minerals Yearbook**, p. 8. Production des États-Unis; R.H. Fuller, "Zirconium and Hafnium", **Mining Annual Review - 1981**, p. 103; P. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", **Mining Annual Review, 1983**, p. 89; et M.H. MacPherson, "Zirconium to the year 2000", **IM Refractories Supplement 1983**, p. 86.
[1] À l'exception de la production des pays à économie centralisée. [2] Surtout de la baddeleyite. [3] Production de l'Indian Rare Earths Limited pour l'exercice financier commençant le 1er avril. [4] Année commençant le 1er avril. [5] Exportations [6] Total des importations de concentrés de zirconium des États-Unis et du Japon; il s'agit probablement d'une partie seulement de la production totale. [7] Madagascar, Nigeria, Sénégal, République Arabe Unie. [8] Madagascar [9] e: estimatif p: préliminaire nd: non divulgué -: néant.

**Produits chimiques à base de zirconium**

i) Production mondiale

Aucune statistique globale n'est actuellement disponible sur la production de produits chimiques à base de zirconium.

La baddeleyite permet de répondre à une faible partie des besoins en oxyde de zirconium. Un équivalent synthétique de cet oxyde est fabriqué à partir du zircon. En 1980, la production mondiale d'oxyde de zirconium très pur était évaluée à environ 14 200 t, dont 5 000 sont censées provenir de la baddeleyite extraite en Afrique du Sud.

Outre de pouvoir produire environ 5 000 t/a de baddeleyite, la Palabora Mining Co. Ltd. disposerait, selon certains, d'une capacité de production de 2 000 t/a de sulphate de zirconium[9].

ii) Accroissements annoncés de la capacité mondiale de production

En 1980, la Magnesium Elektron Ltd. de Twickenham, en Angleterre, un important producteur d'alliages-mères de magnésium-zirconium, a annoncé son intention d'accroître la capacité de ses installations afin de produire de l'oxyde et du carbonate de zirconium à son usine de Manchester, en Angleterre, et aux installations de sa filiale, la Magnesium Elektron Inc. de Flemington, au New Jersey[10] (États-Unis). Un autre producteur d'oxyde, l'Associated Minerals Consolidated Ltd.

voudrait double la capacité de son installation du New Hampshire, qui passerait à 1 360 t d'oxyde de zirconium en 1981[11].

Le gisement du lac Strange situé à la frontière du Québec et du Labrador peut devenir une importante source de production d'oxyde de zirconium.

**Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium**

i) Capacité mondiale de production

Le tableau 12 présente une estimation de la capacité de production d'éponge de zirconium des pays de l'Ouest qui est actuellement sous-utilisée en raison du ralentissement de la construction des réacteurs nucléaires aux États-Unis et ailleurs dans le monde. La Téledyne Wah Chang d'Albany (Oregon) est le plus ancien et le plus grand producteur d'éponge. Les usines françaises et japonaises sont plus récentes. L'URSS ne publie aucune donnée sur sa capacité de production de zirconium.

En 1983, la capacité mondiale de production de lingots de zirconium est évaluée à environ 9 100 t, ce qui représentant près du double de la demande réelle[12]. La capacité des fusion des lingots est toujours supérieure à la capacité de production d'éponge puisque la coulée de lingots se fait à partir d'éponge nouvelle et par recyclage de rebuts de zirconium.

Le tableau 13 donne la liste des producteurs mondiaux de ferroalliages de zirconium et présente une estimation de leur capacité.

ii) Production mondiale au cours des dernières années

Actuellement, les États-Unis se classent au premier rang des producteurs et fournisseurs d'éponge, de lingots, de métal, d'alliages et de produits affinés de zirconium. Le Japon et la France prennent de plus en plus d'importance comme producteurs et comme fournisseurs.

La production américaine d'éponge de zirconium a été évaluée entre 1 600 et 2 000 t[13] ces dernières années.

**Tableau 12**

**Capacité de production d'éponge de zirconium dans des pays de l'Ouest, 1983**

| Pays | | Capacité (t/a) |
|---|---|---|
| France | Pechiney Corporation (CEZUS) | 1 600 |
| Japon | Nippon Mining Co. Ltd. | 150 |
| | Zirconium Industry Inc. | -1 |
| États-Unis | Teledyne Wah Chang (Albany) | 3 600 |
| | Western Zirconium Inc. | 1 350 |
| Total | | 6 700 |

Source: V.P. de Poix, "Zirconium Outlook Hit by Cancellations of Nuclear Power Plants", Engineering and Mining Journal, vol. 184, n° 3, mars 1983, p. 91.
[1] Capacité de 300 t/a; la production a cessé en 1981.

Tableau 13

Principaux producteurs mondiaux de ferro-alliages de zirconium

| Pays | Société et endroit | Estimation de la capacité vers 1979 | |
|---|---|---|---|
| | | (t/a) | |
| Brésil | Italmagnésio SA, Industria e Comércio, Sao Paulo. | - | 530 |
| France | Creusot Loire, Paris. | 1 500 | - |
| Hongrie | Ötvözetgyar, Salgotarjan. | 200 | - |
| Italie | Officine Elettrochimiche Trentine SpA, Milan. | * | * |
| Japon | Shinetsu Chemical Industry, Kashiwahara, (aux installations d'une filiale, la "Shinano") | 1 000 | 1 000 |
| Norvège | Sauda Smelteverk A/S, Sauda (Elkem) | - | 2 500 |
| Royaume-Uni | Murex Ltd. Rainham (groupe British Oxyden Ltd.) | 100 | - |
| États-Unis | The Presses Co., Pulaski, Pennsylvania | 100 | - |
| | Elkem Corporation, Alloy, West Virginia, | - | - |
| | | * | - |

Source: J. Parry (ed.), "Ferro Alloys: A World Survey", p. 73 à 149 et 163.
-: aucune donnée sur la capacité *: capacité inconnue.

Le tableau 14 montre la capacité estimative de production de lingots de zirconium des pays de l'Ouest déterminée d'après la consommation. L'Union Soviétique et la Chine comptent également au rang des producteurs de zirconium.

Aucune statitique n'est publiée sur la production mondiale de ferroalliages du zirconium.

iii) Accroissements possibles de la capacité

La tendance vers une plus grande autonomie en matière de production de matériel stratégique et les délais imposés aux consommateurs étrangers relativement à l'obtention de permis d'exportation de zirconium de qualité nucléaire produite aux États-Unis ont incité les pays d'Europe et d'Asie à augmenter leur capacité de production de zirconium.

Différents projets d'accroissement de la capacité de production ont fait l'objet d'études en France et au Japon ainsi qu'en Inde (tableau 15). Les projets d'expansion que le Japon pourrait éventuellement entreprendre ont été en partie élaborés en tenant compte de la mise au point signalée d'une nouvelle technique de production d'éponge de zirconium beaucoup moins coûteuse.

Les dates probables de mise à exécution de ces projets auraient été reportées en raison de la dégradation des perspectives immédiates concernant l'industrie nucléaire.

**Conclusion de la Partie IV**

Même si on trouve du zircon dans de nombreux pays, la production de concentrés est limitée à quelques pays comme l'Australie (de loin le plus important producteur), l'Afrique du Sud, les États-Unis et l'URSS, tandis que celle de la baddeleyite est restreinte à l'Afrique du Sud et au Brésil.

Les approvisionnements de minéraux à base de zirconium, de produits réfractaires ou de produits chimiques au zirconium ne sont actuellement menacés par aucune pénurie à l'échelle mondiale. Même si le Canada doit importer tous ces matériaux, aucune interruption des approvisionnements n'est actuellement à prévoir.

Les États-Unis, la France, le Japon, l'URSS et la Chine produisent actuellement presque toute l'éponge de zirconium consommée dans le monde. La capacité mondiale de production d'éponge de qualité nucléaire est de beaucoup supérieure à la demande actuelle.

Ces dernières années, la capacité de production d'alliages à base de zirconium s'est de plus en plus répandue dans tous les pays de l'Ouest. Par conséquent, plus d'un pays occidental est actuellement en mesure d'approvisionner le Canada en alliages de zirconium.

**Tableau 14**

**Production estimative de lingots de zirconium des pays de l'Ouest, de 1975 à 1982[1]**

| | Utilisation de l'énergie nucléaire | Utilisations militaires et autres | Total |
|---|---|---|---|
| | | (t) | |
| 1975 | 1 814 | 1 134 | 2 948 |
| 1976 | 2 268 | 680 | 2 948 |
| 1977 | 3 175 | 680 | 3 856 |
| 1978 | 3 402 | 1 361 | 4 763 |
| 1979 | 3 175 | 907 | 4 082 |
| 1980 | 3 175 | 907 | 4 082 |
| 1981 | 2 948 | 680 | 3 628 |
| 1982 | 3 628 | 907 | 4 535 |

Source: Engineering and Mining Journal, publications de mars, 1976 à 1983.
[1] Estimation établie d'après la consommation.

**Tableau 15**

**Accroissements envisagés au cours des dernières années de la capacité de production d'éponge de zirconium des pays de l'Ouest.**

| Pays | Société | Nouvelle capacité (t/a) | (date prévue) | Observations |
|---|---|---|---|---|
| France | CEZUS (Pechiney Corporation) | 1 450 | - | Nouvelle technique exempte de solvants |
| Inde | n.d. | n.d. | n.d. | Complexe minéral Orissa |
| Japon | Mitsui/Ishizuka | 1 200 | n.d. | Aucun projet arrêté |
| | Nippon Mining | 1 000 | 1982 | En utilisant du zircon comme matière première |

Sources: L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, 1978-1979, Volume 1, Metals, Minerals and Fuels", p. 1030; W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", préimpression du Minerals Yearbook de 1980 du U.S. Bureau of Mines, p. 8 et 9; le personnel, "Zirconium and Hafnium: Ishizuka Research to Start Zr Sponge Production", lettre de Roskill en provenance du Japon, n° 60, avril 1981, p. 1; et le personnel, "Chementator", Chemical Engineering, vol. 87, n° 22, 3 novembre 1980.
n.d.: non disponible - : néant

## RÉFÉRENCES


1. R.H. Fuller, "Zirconium and Hafnium", Mining Annual Review - 1981, p. 103.
2. P.H.D. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", Mining Annual Review - 1979, p. 97.
3. P. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", Mining Annual Review - 1982, p. 95.
4. Ibidem
5. P.G. Embrey et J.P. Fuller, "A Manual of New Mineral Names, 1982-1978",p. 57 et 293.
6. Voir "Zirconium and Hafnium" Mining Annual Review, 1972 à 1982.
7. W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", préimpression du Minerals Yearbook de 1981 du Bureau of Mines, p. 8.
8. P. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", Mining Annual Review - 1983, p. 89.
9. Le personnel, "FOSKOR and PMC in Competition over Baddeleyite", Industrial Minerals, n° 169, octobre 1981, p. 61.
10. Le personnel, "Magnesium Elektron Inc. Expanding Zirconium Chemicals Output", American Metal Market, vol. 88, n° 197, 3 juin 1980, p. 8.
11. International Ionarc Inc., "Rapport annuel, 1980", s.p.
12. V.P. de Poix, "Zirconium: Outlook Hit by Cancellations of Nuclear Power Plants", Engineering and Mining Journal, Volume 184, n° 3, mars 1983, p. 91.
13. Voir le chapitre "Zirconium and Hafnium" du Minerals Yearbook, 1971 à 1980, du U.S. Bureau of Mines.

## PARTIE V. AUTRES SOURCES POSSIBLES D'APPROVISIONNEMENT

### Minerais et concentrés de zirconium

i) De producteurs étrangers actuels

Les ressources en zirconium (surtout en zircon) sont très répandues dans le monde. Tout pays peut entrer dans le groupe des producteurs et fournisseurs étant donné les conditions propices du marché.

Le Canada n'importe actuellement que des quantités relativement faibles de zircon des États-Unis même si ce pays est un important producteur. Le Canada peut actuellement s'approvisionner auprès de certains autres pays producteurs comme l'Inde, le Brésil, le Sri Lanka, la Thaïlande et la Malaysia.

ii) De producteurs canadiens possibles

Plus de cinquante dépôts de minéraux à teneur de zirconium ont été enregistrés à l'Inventaire national des minéraux tenu à jour par Énergie, Mines et Ressources Canada[1]. Il s'agit surtout de zircon et d'une certaine variété connue sous le nom de cyrtolite. On trouve du zircon dans la roche sédimentaire uranifère de la région d'Elliot Lake[2] ainsi que dans la pegmatite. En plus de sa teneur relativement élevée en hafnium, le zircon obtenu de la pegmatite canadienne est souvent radioactif, tous les deux étant des facteurs négatifs.

Très peu de venues de baddeleyite ont été découvertes au Canada. Un très grand gisement de gittinsite ($CaZrSi_2O_7$) qui renferme également différents minerais d'yttrium, de béryllium, de columbium et des terres rares, a été découvert sur une propriété de la Compagnie minière IOC près du lac Strange (Lac Brisson), le long de la frontière encore mal définie séparant le Québec du Labrador (Terre-Neuve)[3]. Le potentiel économique de ce gisement fait actuellement l'objet d'études tout comme le gisement contenant du tantale-columbium, des terres rares accessoires et du zircon de la Highwood Resources Ltd. de Calgary, (Alberta), au lac Thor, dans les Territoires du Nord-Ouest[4]. L'existence de gittinsite a également été signalée dans le complexe Kipawa au Québec[5].

La présence de minerais lourds dans les sables bitumineux de l'Athabasca en Alberta, est connue depuis de nombreuses années[6,7,8]. L'exploitation en surface de ces sables, pour en récupérer le pétrole, a donné lieu à une étude du potentiel économique de ces minerais comme sous-produits.

Les recherches exécutées par le Conseil des recherches de l'Alberta[9] ont montré que les minerais de zircon et de titane présents partout dans le gisement de sables bitumineux de l'Athabasca (3 200 $km^2$)[10] peuvent être exploités par des méthodes classiques d'extraction en surface.

En 1976, la Syncrude Canada Ltd. a présenté les résultats d'une étude à grande échelle du potentiel économique des minerais lourds contenus dans les résidus résultant de l'extraction à l'eau chaude, méthode employée pour récupérer le pétrole, de la concession 17 de Fort McMurray dans la région des sables bitumineux de l'Athabasca[11]. Ces résultats montrent qu'il est possible de séparer le zircon des minerais de titane, de rutile, d'ilménite et de leucoxène et d'obtenir un concentré de zircon très pur (titrant jusqu'à 98,2 % de zircon) par enrichissement tout en produisant des cristaux de zircon relativement exempts d'inclusions.

Les travaux supplémentaires réalisés par Énergie, Mines et Ressources Canada[12] montrent que la qualité du zircon des sables bitumineux de l'Athabasca peut

avantageusement être comparée à celle du zircon extrait des grands gisements de renommée mondiale comme ceux de l'Australie, de l'Afrique et des États-Unis (tableau 2).

Les données publiées par la Syncrude montrent également que les résidus de centrifugation obtenus par l'extraction à l'eau chaude du pétrole renferment du zircon et du titane dans des concentrations respectives de 4 et 8 % alors que les concentrations sont respectivement de 0,05 et de 0,2 % dans les sables bitumineux de la concession 17[13]. Il est possible de récupérer près de 75 % du minerai de zircon et de titane contenu dans les résidus de centrifugation[14].

Dans son étude, la Syncrude évalue qu'une installation du traitement des sables bitumineux d'une capacité de 125 000 barils par jour peut produire environ 41 000 t/a de minerai de zircon et près de 94 000 t/a de minerai de titane[15]. La production de toute variété de minerais lourds dans les concessions à la Syncrude s'accompagnerait de la production de minerais de zircon et de titane. L'exploitation de minerais ferait passer la production annuelle de zircon à des niveaux de beaucoup supérieurs aux besoins canadiens, dans un avenir raisonnablement prévisible, même en tenant compte de tout le zircon utilisé à des fins de production du zirconium métal nécessaire à la réalisation du programme de construction de réacteurs nucléaires destinés aux marchés canadien et étranger.

Les expériences réalisées au début des années 70 par le Conseil de recherches de l'Alberta[16] montrent que la technique d'absorption par la tourbe pourrait permettre de récupérer le zirconium et le titane ainsi que de séparer le zirconium du titane contenu dans les eaux usées comme celles produites par la séparation des résidus dans les installations de traitement des sables bitumineux.

A peu près à la même période, la Canadian Titanium Pigments Limited, (maintenant NL Chem Canada Inc.) aurait, selon certains, engagé des négociations avec la Great Canadian Oil Sands Limited (maintenant Suncor Inc.) en vue de construire sur la propriété de celle-ci une installation de 10 millions de dollars qui lui permettrait d'extraire de 1 300 à 1 600 t/j de zircon[17,18]. La Canadian Titanium Pigments se proposait d'utiliser la technique de gravitation différentielle actuellement employée dans l'exploitation des sables australiens par la N L Industries Inc. afin d'extraire le zircon des résidus. La société prévoyait transporter par navires le zircon ainsi obtenu jusqu'aux États-Unis où il aurait été transformé en oxyde de zirconium. Mais la propriété de la Suncor n'a pas encore, à ce jour, produit de zircon.

**Produits chimiques à base de zirconium**

i) De producteurs étrangers actuels

En sus des fournisseurs identifiés du marché canadien, l'Afrique du Sud, le Japon, la France, l'Allemagne de l'Ouest, l'Italie, les Pays Bas, l'URSS et la Chine sont renommés comme fournisseurs de produits chimiques à base de zirconium[19,20,21,22].

ii) De producteurs canadiens possibles

Au début des années 70, l'Ionarc Smelters Inc. de Vancouver a mis au point une nouvelle technique à plasma pour la production d'oxyde de zirconium[23]. Cette technique utilisée aux États-Unis n'a pas encore fait son apparition au Canada.

**Zirconium-métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium**

i) De producteurs étrangers actuels

Le Canada pourrait s'approvisionner en alliages-mères de magnésium-zirconium auprès d'un certain nombre d'autres sources, surtout aux États-Unis.

Outre ses fournisseurs actuellement reconnus, le Royaume-Uni, l'Allemagne de l'Ouest, l'Italie, la Suède ont déjà fourni, récemment, des alliages de zirconium au Canada[24]. Avec l'annonce de la mise au point d'une nouvelle technique de production bon marché, le Japon est en mesure d'améliorer sa position au rang des principaux fournisseurs mondiaux. Actuellement, les États-Unis sont le seul fournisseur d'alliages de niobium-zirconium utilisés pour la fabrication des tubes de force des réacteurs CANDU. Cependant, différents types de zircalloys sont utilisés à profusion comme gainage des grappes de combustibles et des autres pièces des réacteurs CANDU. Tous les producteurs sont en mesure de fournir ces zircaloys.

L'Afrique du Sud pourrait devenir un important fournisseur en se lançant dans la transformation du zircon ou de la baddeleyite puisque cette matière première abonde dans son sous-sol. L'Inde exploite actuellement une installation de métaux et d'alliages[25] tandis que l'Argentine[26] a annoncé son intention d'en construire une d'ici 1984.

ii) De producteurs canadiens possibles

Une bonne partie de la recherche sur le zirconium métal et les alliages de zirconium a été exécutée au cours des années 60. Au Canada, des recherches et des études en usine pilote sur la production de zirconium métal à partir d'oxyde de zirconium et de sable de zircon[27,28] ont été réalisées avec succès par l'Eldorado Nucléaire Limitée entre 1962 et 1967. Au terme de ses études, l'Eldorado a annoncé la construction d'une installation de production par coulée directe de lingots d'alliages de zirconium de qualité nucléaire. L'usine relativement petite (évaluée à 8 millions de dollars) et d'une capacité de 270 t/a utilise comme charge d'alimentation du sable de zircon australien[29,30].

La technique mise au point par l'Eldorado était relativement nouvelle puisqu'elle permet la production d'un alliage de zirconium sans passer par les étapes intermédiaires de production d'éponge de zirconium[31,32]. Les lingots, des cylindres d'alliages de zirconium de 1 000 livres, étaient soudés bout à bout en obtenant ainsi les électrodes nécessaires à la poursuite du traitement dans un four à arc sous vide à électrode consumable. L'usine était également équipée des machines de forgeage, de décapage et d'usinage nécessaires à la production de billettes à noyau fusible dont on fabrique des tubes par filage[33]. L'usine pourrait aussi produire des billettes et des barres forgées destinées à la fabrication de produits laminés. Les billettes étaient envoyées aux États-Unis pour filage puis ramenées au Canada.

La date prévue de démarrage de l'installation a été reportée de 1968 à 1969 en raison de certains problèmes d'exploitation. A la fin de 1969, l'usine avait produit des matériaux jugés satisfaisants par les fabricants[34].

En 1970, la capacité mondiale de production de zirconium était excédentaire et l'Eldorado a donc fermé temporairement son usine[35]. Aucun alliage de zirconium n'a été produit en 1971[36]. L'année suivante, l'installation était fermée en raison des considérations d'ordre économique.

La technique mise au point par l'Eldorado devait permettre le recyclage des rebuts d'alliages de zirconium provenant des industries du pays et ainsi obtenir un meilleur rendement comparativement au recyclage des rebuts importés, compte tenu des coûts du fret et des essais que devait supporter l'acheteur[37].

L'Eldorado a ensuite orienté ses recherches sur le zirconium, sur l'extraction par solvant dans un milieu d'acide sulfurique et sur la lixiviation du minerai de baddeleyite.[38]

L'Ontario Hydro, qui est le plus grand consommateur canadien de produits finis à base de zirconium, s'est montrée très intéressée par la création d'une source canadienne de production d'alliages de zirconium. Au milieu des années 70, l'Ontario Hydro a demandé des propositions de projets de construction d'une installation de zirconium métal; une étude conjointe entreprise avec l'AMAX Specialty Metals Corporation a été abandonnée en 1976[39]. Plus récemment, la Mines Noranda Limitée a entrepris une étude de la question pour le compte de l'Ontario Hydro.

Un certain nombre de publications parues récemment[40,41,42,43] montrent bien l'intérêt continu porté par le Canada au domaine général de la métallurgie d'extraction du zirconium. Un comité d'étude de la métallurgie d'extraction du zirconium, composé de représentants de l'industrie, d'universités et d'organismes fédéraux et provinciaux, s'est occupé, jusqu'à tout récemment, de promouvoir la recherche sur les nouvelles technologies possibles de production de zirconium métal.

Tout accroisssement du degré de pureté quant à l'isotope 90 du zirconium se réfléterait immédiatement sur le rendement des réacteurs CANDU.

**Conclusion de la Partie V**

Le Canada possède d'importantes ressources de zircon, surtout dans les sables bitumineux de l'Alberta. La gittinsite, autre minérai à teneur de zirconium, abonde également au pays, principalement dans la région du lac Strange, à la frontière du Québec et du Labrador.

Selon les estimations, une usine de production de pétrole synthétique d'une capacité de 125 000 barils par jour pourrait également produire 41 000 t/a de zircon ainsi que d'autres minerais lourds (à teneur de titane).

Si les sources actuelles d'approvisionnements en zircon venaient à faire défaut, le Canada pourrait s'alimenter d'un certain nombre d'autres pays producteurs, comme l'Afrique du Sud.

Pour remplacer ou pour compléter ceux qui proviennent de fournisseurs étrangers, le Canada pourrait importer des produits chimiques à base de zirconium d'un certain nombre de pays, comme l'Afrique du Sud, le Japon, la France, l'Allemagne de l'Ouest, l'Italie et les Pays-Bas.

De 1969 à 1972, l'Eldorado Nucléaire Limitée a produit des alliages de zirconium à partir de zircon importé à son usine de Port Hope, en Ontario. Cette usine a été démantelée. Exception faite du niobium-zirconium, élément essentiel dans la fabrication des tubes de force destinés aux réacteurs CANDU, les alliages de zirconium utilisés dans la filière CANDU peuvent être importés de plusieurs pays.

La recherche sur la métallurgie du zirconium occupe une place modeste mais néanmoins importante au Canada.

## RÉFÉRENCES


1 Base de données sur les venues de minéraux au Canada tenue à jour par le Secteur de la politique minérale d'Énergie, Mines et Ressources Canada.

2 N.J. Theis, "Uranium-Bearing and Associated Minerals in their Geochemical and Sedimentological Context, Elliot Lake, Ontario", Bulletin n° 304, 1979, p. 50, Commission géologique du Canada.

3 Le personnel, "Rare Mineral Find May Cause Debate", The Globe and Mail, 9 août 1983, p. 9.

4 A. Davidson, "Petrochemistry of the Blachford Lake Complex near Yellowknife, N.W.T.," in Y.T. Maurice (ed.). "Uranium in Granites", document 81-23, 1982, p. 71 à 79, Commission géologique du Canada.

5 H.G. Ansell, A.C. Roberts, A.G. Plant et B.D. Sturman, "Gittinsite, a New Calcium Zirconium Silicate from the Kipawa Agpaitic Syenite Complex, Quebec", Canadian Mineralogist, vol. 18, 1980, p. 201 à 203.

6 G.B. Mellon, "Heavy Minerals of the McMurray Formation", Conseil de recherches de l'Alberta, Rapport n° 72, partie II, 1956, p. 30 à 39.

7 M.A. Carrigy, "Criteria for Differentiating the McMurray and Clearwater Formations in the Athabasca Oil Sands", Conseil de recherches de l'Alberta, Bulletin 14, 1963, p. 24.

8 M.A. Carrigy, "Lithology of the Athabasca Oil Sands", Conseil de recherches de l'Alberta, Bulletin 18, p. 22.

9 J.W. Kramers, et R.A.S. Brown, "Survey of Heavy Minerals in the Surface-Mineable Area of the Athabasca Oil Sand Deposit", CIM Bulletin, vol. 69, n° 777, décembre 1976, p. 92 à 98.

10 Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles de l'Alberta, "Energy Heritage: Oil Sands and Heavy Oils of Alberta", ENR 1/19-1, 1982, p. 35.

11 L.W. Trevoy, R. Schutte et R.R. Goforth, "Development of the Heavy Minerals Potential of the Athabasca Tar Sands", CIM Bulletin, vol. 71, n° 791, mars 1978, p. 175 à 180.

12 J.E. Dutrizac, "A Comparative Analysis of Athabasca Tar Sand Zircon and Chemical Analysis of Some Other Canadian Zirconium Minerals", Rapport CANMET MRP/MSL 78-180 (TR), 1978.

13 J.W. Kramers et R.A.S. Brown, op. cit. p. 98.

14 L.W. Trevoy, R. Schutte et R.R. Goforth, op. cit., p. 179.

15 Ibid.

16 S. Parkash, et R.A.S. Brown, "Use of Peat and Coal for Recovering Zirconium from Solution", CIM Bulletin, vol. 69, n° 771, juillet 1976, p. 59 à 64.

17 Le personnel, "Tar Sands for Zircon Extraction", C.P.I. Management, vol. 9, n° 5, 7 février 1977, p. 2.

18 H.C. McIntyre, "Uranium Exports Could Match Oil Imports", Canadian Chemical Processing, vol. 61, n° 4, avril 1977, p. 21.

19 Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Zirconium", Troisième édition 1980, p. A-22 à A-29.

20 W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, préimpression du U.S. Bureau of Mines Yearbook 1980, p. 7 et 9.

21 G. Clarke, "The Palabora Complex - Triumph Over Low Grade Ores", Industrial Minerals, n° 169, octobre 1981, p. 61.

22 American Metal Market, 3 juin 1980, p. 1.

23 Le personnel, "Plan Zirconium Oxide Production Plant Using Ionarc High-Temperature Process," Northern Miner, vol. 55, n° 8, 8 mai 1969, p. 23.

24 Voir Statistique Canada, "Importations, Commerce de marchandises", Publication n° 65-203, (annuelle), de 1970 à 1979.

25 P.G. Alfredson, D. Royston, J. Ward, W.J. Wright, "Survey of Future Production of Zircon and Zirconium in Australia", Australian Mineral Industry Quarterly Review, vol. 26, n° 1, p. 28 et 36.

26 Le personnel, "Fuel Fabrication Factory Openend", Nuclear Engineering International, vol. 27, n° 327, mai 1982, p. 88.

27 Eldorado Nucléaire Limitée, rapports annuels.
28 G.P. Wigle, "Zirconium and Hafnium", Annuaire des minéraux du Canada, 1967, p. 511.
29 Le personnel, "Zr and $UF_6$: New Products For Eldorado Nuclear", Chemistry in Canada, vol. 21, n° 11, décembre 1969, p. 42 et 43.
30 Eldorado Nucléaire Limitée, "Eldorado", n.d. (vers 1969), s.p.
31 Ibid.
32 G.P. Wigle, Ibid.
33 Eldorado Nucléaire Limitée, loc. cit.
34 Eldorado Nucléaire Limitée, "Rapport annuel, 1969".
35 Ibid.
36 G.R. Couch, "Zirconium-Hafnium", Engineering and Mining Journal, vol. 173, n° 3, mars 1972, p. 137.
37 Le personnel, "Zirconium Route Bypasses Sponge Step", Canadian Chemical Processing, vol. 52, n° 6, juin 1968, p. 72.
38 Eldorado Nucléaire Limitée, "Rapport annuel 1974", p. 5.
39 G.R. Couch, "Zirconium - A Non-Profit Metal Again in 1976", Engineering and Mining Journal, vol. 178, n° 3, mars 1977, p. 144.
40 R.D. Spink, "Extractive Metallurgy of Zirconium and Hafnium", CIM Bulletin, vol. 70, n° 787, novembre 1977, p. 145 à 155.
41 S.N. Flengas et J.E. Dutrizac, "A New Process for the Separation of Hafnium from Zirconium", Metallurgical Transactions, vol. 88, septembre 1977, p. 377 à 385.
42 O. Bicerolu et W.H. Gauvin, "The Chlorination Kinetics of Zirconium Dioxide in the Presence of Carbon", The Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 58, n° 3, juin 1980, p. 357 à 366.
43 A. Mitchell et R. Brown, "The Electron Beam Melting of Zirconium and Zircaloys", document présenté à la 6e conférence internationale sur le zirconium dans l'industrie nucléaire, Vancouver (C.-B.), le 28 juin 1982.

## PARTIE VI. MATÉRIAUX DE REMPLACEMENT

**Minerais et concentrés de zirconium**

La chromite, l'olivine, l'alumine, la magnésite, la sillimanite, la mullite, des argiles calcinées et la silice peuvent remplacer le zircon pour certaines utilisations en fonderie.

En règle générale, la chromite est le meilleur substitut du zircon. Le sable de chromite présente certains avantages que l'on ne trouve pas dans le sable de zircon.[1] Il est plus résistant à la pénétration du métal, il nécessite moins de produits d'apport en raison d'une meilleure répartition de sa granulométrie, il refroidit mieux et coûte habituellement moins cher que le sable de zircon. Cependant, la présence de gangue et de minéraux hydratés peut entraîner la formation de défauts dans les pièces coulées. En raison de la pénurie de zircon des années 70 et de la hausse de son prix, les fonderies, surtout celles d'Europe, ont opté pour l'emploi de la chromite[2]. Cependant, avec le retour aux conditions normales d'approvisionnement, le zircon a repris la part du marché qu'il avait perdue au profit de la chromite vers la fin des années 70[3].

Dans les pays scandinaves et dans certaines régions de l'Amérique du Nord, le sable d'olivine est utilisé couramment pour couler des aciers au manganèse[4]. Selon certains, la consommation de sable d'olivine a augmenté pendant la pénurie de zircon et de chromite, vers le milieu des années 70[5]. L'olivine est cependant de moindre stabilité aux chocs thermiques que le zircon ou la chromite[6].

Actuellement, le Canada ne produit ni chromite ni olivine. Ce dernier minerai nous provient de la Caroline du Nord et de l'État de Washington (États-Unis).

La molochite (terre à porcelaine vitrifiée), la sillimanite, les sables de chrome-magnésite et de staurolite ont déjà été utilisés dans les moulages en cire perdue[7].

Dans certaines opérations de fonderie, il a été possible de substituer du sable de zircon recyclé à du sable nouveau. Ce sable recyclé provenait, semble-t-il, de moules en coquille de sable[8]. Dans d'autres opérations, on se sert de sable de zircon recyclé pour remplacer du sable de silice nouveau, en tant que matériau de renforcement dans les moules. Les pénuries de zircon du milieu des années 70 proviennent de l'utilisation de qualités inférieures de zircon dans des applications où l'emploi de zircon de qualité supérieure était prescrit[9].

Malgré les excellents résultats obtenus avec la farine de zircon, on a aussi eu recours à la silice, au bioxyde de titane, à la chromite, à l'alumine et à la magnésite, en fonderie, comme matériaux de remplacement dans les poteyages réfractaires[10]. L'emploi de la farine de chromite semble donner des résultats insatisfaisants en raison des défauts de coulée attribuables à la présence de minéraux hydratés dans la poudre[11].

Dans les cas de petits moulages compliqués, des farines de silimanite, mullite et d'argile calcinée peuvent remplacer de la farine de zircon[12].

On peut aussi se passer du zircon en appliquant avec soin de l'enduit pour moule en sable de silice[13].

Des argiles, la pyrophyllite, la dolomite, des matériaux à forte teneur en alumine et l'andalousite peuvent être substitués au zircon utilisé dans les garnitures des poches de coulée d'acier. De l'argile réfractaire et de la mullite ont été utilisées en remplacement de la zircone employé dans la fabrication des quenouilles et des buses des poches de coulée et des busettes de paniers de coulée

continue de l'acier[14]. Des vannes de type "barrière roulante" remplacent maintenant une grande partie des quenouilles et des buses. La mullite tabulaire et la magnésite peuvent remplacer, en partie, la zircone utilisée dans la fabrication des vannes de type "barrière roulante"[15].

Des monolithes de silice, des briques de silice et des briques à forte teneur d'alumine ainsi que des briques basiques remplacent les monolithes de zircon utilisés comme garniture des fours à induction sans noyau que l'on trouve surtout dans les fonderies de fer[16].

La baddeleyite utilisée dans la fabrication de produits abrasifs à base d'alumine-zircone peut être remplacée par la zircone obtenue du zircon. Le zircon contient cependant beaucoup moins de zircone et il faut le soumettre à des étapes additionnelles de traitement afin d'éliminer la silice du zircon.

**Produits chimiques à base de zirconium**

L'oxyde d'étain peut remplacer le silicate de zirconium comme opacifiant dans les glaçures de céramique[17]. S'il faut en utiliser plus pour obtenir un effet équivalent à celui de l'oxyde d'étain, la silicate de zirconium coûte toutefois moins cher. Par ailleurs, il est facile de la combiner avec des produits chimiques au zirconium utilisés pour colorer les glaçures.

Le bioxyde de titane et l'oxyde d'antimoine peuvent être utilisés en remplacement du silicate de zirconium dans les émaux de porcelaine servant à glacer les métaux, car l'émaillage se fait habituellement à basse température[18].

L'emploi de nombreux substituts des agents de coloration des glaçures à base de zirconium semblerait dépendre principalement de leur compatibilité avec le reste des produits entrant dans la composition des glaçures. Par ailleurs, il faut également considérer que les usagers doivent accepter que les effets de couleurs recherchés peuvent varier quelque peu.

**Zirconium métal, alliages-mères de zirconium et autres alliages de zirconium**

Le zirconium, l'acier inoxydable, l'aluminium et le magnésium ont tous été utilisés comme matériaux de fabrication des éléments du coeur de réacteurs nucléaires[19,20]. Le matériau choisi est fonction de la conception des réacteurs et une fois celle-ci arrêtée, on ne peut faire marche arrière avant longtemps. Le zirconium est le seul matériau dont l'emploi est acceptable dans les réacteurs CANDU du Canada.

Le concept du réacteur CANDU repose sur l'utilisation combinée de zirconium, d'eau lourde et d'uranium naturel. On dispose d'une certaine souplesse dans le choix des alliages de zirconium devant entrer dans la fabrication du coeur des réacteurs. Il est possible de concevoir un nouveau type de réacteur construit à partir d'autres matériaux, mais les coûts de remplacement du zirconium dans les réacteurs CANDU actuels seraient exorbitants, car il faudrait aussi trouver un combustible pour remplacer l'uranium gainé au zirconium.

Le titane métal et les alliages de nickel appelés "hastelloys" peuvent être utilisés en remplacement du zirconium dans des applications impliquant l'emploi de produits chimiques corrosifs[21]. Le titane peut remplacer le zirconium dans les usines de produits chimiques lorsqu'il y a pénurie de zirconium métal.

Le coulage des alliages de zinc-magnésium utilisés par l'industrie aérospatiale est en grande partie fonction de leur teneur en zirconium ajouté. En cas d'interruptions prolongées des approvisionnements qui entraîneraient un

épuisement des réserves, il faudrait alors produire des pièces coulées en utilisant d'anciens types d'alliages du genre "Mg 50 %, Al 9 % et Zn 1-2 %" pouvant présenter une certaine microporosité qui nuirait à leur coulage.

Des terres rares pourraient remplacer le zirconium utilisé dans l'élaboration d'aciers à base de zirconium.

**Conclusion de la Partie VI**

Plusieurs matériaux peuvent remplacer le zircon en fonderie. Il s'agit entre autres de la chromite et de l'olivine, que le Canada ne produit pas pour l'instant. Dans certaines opérations, il a été possible d'utiliser du sable de zircon recyclé au lieu de sable nouveau.

Le zircon peut remplacer la baddeleyite comme source de zircone dans la fabrication des abrasifs à base d'alumine-zircone. Des matériaux de remplacement peuvent également être utilisés dans la composition de produits chimiques à base de zirconium.

Le titane métal, le tantale, certains alliages de nickel appellés "hastelloys" et des revêtements céramiques peuvent remplacer le zirconium métal dans certaines utilisations de l'industrie chimique.

Il n'existe aucun substitut aux alliages à base de zirconium utilisé dans la filière CANDU.

## REFERENCES


1 G. Ashby, "Minerals in the Foundry Industry", Second Industrial Minerals' International Congress, Munich, 1976, p. 161.
2 Ibid.
3 P.D.H. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review, 1978, p. 99.
4 G. Ashby, op. cit., p. 161 et 162.
5 I. Watson, "Olivine and Dunite: Slag Uses Foster Right Market", Minéraux industriels, n° 159, décembre 1980, p. 59.
6 G. Ashby, op. cit., p. 162.
7 G. Ashby, op. cit., p. 162.
8 J.M Middleton, "Zircon: Its Application in the Foundry", Minéraux industriels, n° 16, janvier 1969, p. 31.
9 B.M. Coope et E.M. Dickson (éd.), "Raw Materials for the Refractories Industry", Industrial Minerals Consumer Survey, 1981, p. 118.
10 G. Ashby, op. cit., p. 163.
11 Ibid; p. 164.
12 J.M. Middleton, op. cit., p. 31.
13 Minéraux industriels, n° 91, op. cit., p. 37.
14 Le personnel, "Refractories: Changing Patterns of Consumption", Minéraux industriels, n° 125, février 1978, p. 21.
15 Ibid.
16 Minéraux industriels, n° 125, op. cit., p. 25.
17 I. Watson, "Minerals For Frits and Glazes - Value in Variety", Minéraux industriels, n° 165, juin 1981, p. 27.
18 I. Watson, op. cit., p. 33.
19 G.A. Pon, "The Fundamentals of Nuclear Power", L'Énergie Atomique du Canada Limitée, p. 5 à 12.
20 D.H. Bradhurst, "Corrosion of Reactor Materials", Énergie Atomique de l'Australie, vol. 13, n° 4, octobre 1970, p. 10 à 15.
21 P. Wechsler, "Zirconium Competing with Titanium, Hastelloy in Chemical Industry", American Metal Market, vol. 88, n° 251, mercredi le 31 décembre 1980, p. 1.

## PARTIE VII. RÉSUMÉ

### Utilisations au Canada

L'industrie canadienne consomme du zirconium sous la forme de concentrés de zircon (silicate de zirconium) et de baddeleyite (bioxyde de zirconium); de produits à base de zirconium coulés par fusion; de produits chimiques à base de zirconium ainsi que d'alliages et d'alliages-mères de zirconium métal.

Les aciéries et les fonderies de fer et de métaux spécialisés du Canada utilisent du zircon pour la fabrication de moules et de noyaux de coulée des métaux. La baddeleyite constitue la matière première utilisée pour obtenir de l'alumine-zircone, produit intermédiaire exporté aux États-Unis où il entre dans la fabrication d'abrasifs. Les produits chimiques à base de zirconium entrent également dans la fabrication de produits sanitaires, de matériels électriques, d'appareils de laboratoire, de peintures et de vernis en plus d'être utilisés en poterie. A cela s'ajoutent les applications reconnues dans l'industrie métallurgique. Le zirconium métal entre dans la fabrication de flashes et de matériels de production des usines de produits chimiques. Les alliages à base de zirconium constituent un élément essentiel de la filière CANDU (partie VIII: Conclusion et recommandations). Ces alliages sont aussi utilisés dans l'élaboration d'aciers et dans la préparation de pièces coulées destinées à l'aviation.

Aucune donnée n'a été publiée sur la consommation canadienne de produits à base de zirconium. En 1981, nos importations ont atteint 24 000 t de zircon et de silicate de zirconium d'une valeur de 3,7 millions de dollars. Le Canada a cependant réexporté environ 21 000 t de zircon. Le Canada, par ailleurs, a importé sous différentes formes 73 t de zirconium d'une valeur de 2,5 millions de dollars, 322 t d'alliages de ferrozirconium au prix de 0,7 million de dollars et 289 t d'autres alliages de zirconium (16 millions de dollars).

### Sources actuelles

Le Canada dépend totalement de fournisseurs étrangers pour obtenir tous ses approvisionnements de sous-produits du zirconium, sauf dans le cas de l'alumine-zircone qui est produite au pays, à partir de baddeleyite importée.

L'Australie est notre principal fournisseur de zircon (dont une partie est transbordée aux États-Unis). Une certaine quantité de zircon est importée d'Afrique du Sud (via les États-Unis). La farine de zircon que le Canada importe, provient surtout des États-Unis. L'Afrique du Sud fournit les quantités relativement faibles de baddeleyite consommée au Canada.

Les États-Unis sont le principal fournisseur de produits de zirconium partiellement fondus et de produits chimiques à base de zirconium.

Le zirconium métal et les alliages à base de zirconium sont importés des États-Unis (qui importent la totalité de leurs approvisionnements en baddeleyite et plus de la moitié du zircon consommé) et de la France (pays qui dépend entièrement de sources étrangères pour obtenir ses approvisionnements de matière première à teneur de zirconium).

### Approvisionnements mondiaux

Même si la présence de zircon a été relevée dans de nombreuses parties du monde, seul un petit nombre de pays produisent des concentrés, notamment l'Australie (de loin le plus important producteur), la République d'Afrique du Sud, les États-Unis, l'URSS et la Chine. Presque toute la production mondiale de baddeleyite provient de la République d'Afrique du Sud.

Aucune pénurie ne menace actuellement les approvisionnements de minerais à base de zirconium. On ne prévoit pas, pour l'instant, que les pays consommateurs auront de la difficulté à obtenir des approvisionnements suffisants de produits réfractaires au zirconium ou de produits chimiques à base de zirconium.

Les Etats-Unis, la France, le Japon, l'URSS et la Chine fournissent actuellement presque toute la production mondiale d'éponge de zirconium. La capacité mondiale de production de ce matériau est de beaucoup supérieure à la demande actuelle. C'est aussi le cas des alliages à base de zirconium. Ces dernières années, la production d'alliages à base de zirconium s'est répandue dans nombre de pays de l'Ouest. Selon certains, les nouveaux fournisseurs exploitent une technologie qui permet de réduire leurs coûts de production.

**Sources intérieures possibles**

Le Canada dispose d'importantes ressources en zircon, présentes surtout dans les sables bitumineux de l'Alberta. En 1979, un grand gisement de gittinsite, silicate de calcium-zirconium, a été découvert près du lac Strange, à 226 km au nord-est de Scherfferville (Québec). Les nombreux essais en laboratoire exécutés depuis 1981 par la Compagnie minière IOC ont permis de récupérer des qualités de commerce de concentré très pur. D'autres essais devront être réalisés pour comparer les propriétés de ce matériau à celles du zircon importé.

Les possibilités de construire une usine canadienne de fabrication d'alliages à base de zirconium pour les centrales nucléaires de la filière CANDU semblent douteuses puisqu'une telle usine ne serait pas rentable dans un avenir prévisible. Compte tenu de l'importante capacité des producteurs étrangers d'alliages de zirconium, le Canada aurait beaucoup de difficulté à soutenir la concurrence, surtout que la capacité de production est excédentaire dans le monde. De 1969 à 1972, l'Eldorado Nucléaire Limitée a produit des alliages à base de zirconium à son usine de Port Hope, en Ontario, en utilisant comme matière première du zircon importé d'Australie. L'usine a été fermée car elle n'était pas rentable. A la fin des années 60 et au début des années 70, des universités canadiennes ont effectué une bonne partie de la recherche sur de nouvelles techniques de production de zirconium métal. La recherche a pratiquement cessé depuis.

**Substituts**

Quelques substituts comme la chromite et l'olivine (toutes deux importées) peuvent être utilisés en remplacement du zircon dans certaines utilisations en fonderie. Le zircon peut remplacer la baddeleyite comme source d'oxyde de zirconium servant à la fabrication d'abrasifs à base d'alumine-zircone.

Des substituts peuvent également être employés dans certains produits chimiques à base de zirconium. Dans le cas d'applications mettant en cause des produits chimiques corrosifs, le titane métal et certains alliages de nickel appelés "hastelloys" peuvent remplacer le zirconium métal.

Cependant aucun substitut n'a été trouvé aux alliages à base de zirconium utilisés pour le gainage de combustibles des réacteurs CANDU.

**Stocks**

Le zircon est entreposé en vrac dans la région du Niagara (Ontario). L'Ontario Hydro disposerait de stocks d'au moins neuf mois de grappes de combustibles à gainage de zircaloy. Aucune donnée n'a été fournie sur les stocks de produits à base de zirconium des autres consommateurs canadiens.

## PARTIE VIII: CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

**Conclusion**

Tous les concentrés de zirconium (qu'il s'agisse de zircon ou de baddeleyite) et tous les matériaux au zirconium partiellement traités qu'a consommés le Canada, proviennent de l'étranger. En effet, le Canada ne dispose d'aucune mine de minerais de zirconium ni d'aucune installation de production de métal ou d'alliages-mères (sauf dans le cas d'alliages de zirconium-niobium).

**Utilisations dans la fabrication de grappes de combustibles nucléaires.**

Le zirconium est un élément essentiel de la fabrication des grappes de combustibles des centrales nucléaires du Québec, de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick. La fourniture d'électricité au plus bas coût possible en Ontario, principale région industrielle du pays, est un élément vital au bien-être économique des Canadiens. La puissance, à bas prix des centrales CANDU entièrement dépendantes du zirconium, représente presque le tiers de la production d'énergie de l'Ontario Hydro.

Le Canada est actuellement peu vulnérable à toute interruption de ses approvisionnements d'électricité en cas de pénurie des matériaux au zirconium puisque:

1) Plusieurs pays produisent du zircon, notamment l'Australie, la République d'Afrique du Sud et les États-Unis, et que les approvisionnements actuels sont abondants. Seulement 2 % du zircon produit dans le monde sont transformés en métal et en alliages du même type que ceux utilisés dans les réacteurs CANDU. En cas d'interruption des échanges de zircon, ce qui est peu probable, les approvisionnements utilisés à d'autres fins pourraient être réservés uniquement à la production de zirconium métal.

2) La capacité mondiale de fabrication de métal ou d'alliages de zircon (États-Unis, France, Japon) est excédentaire.

3) Le Canada dispose des installations et du matériel requis pour fabriquer des grappes de combustibles.

4) L'Ontario Hydro dispose d'au moins neuf mois de réserves de grappes de combustibles à gainage de zirconium.

Le nucléaire contribue pour 31 % à la production d'électricité de l'Ontario Hydro. Si la société venait à manquer de combustibles à gainage de zirconium, elle pourrait: a) réduire ses ventes d'électricité, b) augmenter graduellement la production de ses centrales classiques* (de 8 à 10 % de plus que la production normale), c) prendre des dispositions pour acheter de l'électricité du Québec, et d) remettre en production les centrales thermiques qu'elle garde en réserve. Toutes ces solutions de rechange augmenteraient considérablement le coût unitaire moyen de l'électricité vendue aux consommateurs.

**Utilisations dans les fonderies .** Les approvisionnements de zircon sont actuellement supérieurs à la demande mondiale; il serait par ailleurs possible, en cas d'interruption à court terme des livraisons, de s'en procurer auprès d'autres pays producteurs ou de le remplacer par d'autres matériaux réfractaires comme la chromite, l'olivine ou, dans certains cas, le sable de silice.

---

* Cette méthode a été adoptée par l'Ontario au cours de l'été de pendant la fermeture de sa centrale de Pickering.

Par ailleurs, le Canada pourrait être en mesure d'utiliser le zircon récupéré des sables bitumineux de l'Alberta, lorsque les chercheurs auront montré que ce type de zircon peut être utilisé en fonderie.

**Utilisations dans les abrasifs.** Le Canada importe de la baddeleyite d'Afrique du Sud pour produire de l'alumine-zircone, produit intermédiaire exporté aux États-Unis où il entre dans la composition d'abrasifs. En cas d'interruption des approvisionnements de baddeleyite, la zircone obtenue du zircon pourrait remplacer la baddeleyite d'usages actuels.

Un grand gisement de gittinsite, minérai complexe d'oxyde d'yttrium-béryllium-zirconium, a été découvert récemment à environ 0 km au nord-est de Scherfferville (Québec). Le matériau extrait de ce gisement pourrait être utilisé pour la production d'alumine-zircone dès que les chercheurs auront prouvé que ses propriétés conviennent à cette application.

**Utilisations dans les garnitures de four.** Le Canada importe des produits à base de zirconium coulés par fusion qu'il utilise comme garniture des fours à verre; les aciéries et les industries de métaux non ferreux utilisent également ce type de produit. L'industrie pourrait faire face à des interruptions d'approvisionnements de produits à base de zirconium coulés pendant au moins six mois en ayant recours à des solutions de fortune.

**Recommandations**

Au Canada, le zirconium revêt une importance stratégique dans le domaine de la production d'électricité de source nucléaire.

Étant donné que l'Ontario Hydro dispose d'un stock d'au moins neuf mois de grappes de combustibles à gainage de zirconium, il est recommandé que l'administration fédérale ne prenne, pour l'instant, aucune mesure spéciale concernant les approvisionnements de zirconium.

ANNEXE

ANNEXE 1

## ÉQUIVALENT EN DOLLARS CANADIENS DU PRIX AFFICHÉ DE CATÉGORIES CHOISIES DE MATÉRIAUX À BASE DE ZIRCONIUM, 1970 à 1981[1,2]

A. Catégories choisies de concentrés et de produits chimiques

| | Zircon | | Baddeleyite | | Oxyde de zirconium | | Zirconium |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | sable[3] | farine[4] | 96 à 98% de $ZrO_2$[5] | 99%+ $ZrO_2$[6] | Qualité Opacifiant[7] | Farine[8] | Hydrure[9] |
| | ($/tonne) | ($/tonne) | ($/kg) | ($/kg) | ($/kg) | ($/kg) | ($/kg) |
| 1970 | 72 | 126 | na | na | ,97 | na | 33,30 - 36,20 |
| 1971 | 68 | 122 | ,33 | ,99 - 1,34 | ,93 | 14,50-17,90 | 32,20 - 35,70 |
| 1972 | 63 - 68 | 109 | ,35 - ,44 | ,99 - 1,30 | ,90 | 14,10-17,40 | 31,70 - 35,00 |
| 1973 | 94 - 98 | 110 | ,35 - ,44 | 1,06 - 1,39 | ,93 | 14,30-17,60 | 32,00 - 35,30 |
| 1974 | 540 | 540 | ,40 - ,44 | 1,21 - 1,57 | 1,74 | n.d. | 31,30 - 34,60 |
| 1975 | 560 | 550-555 | ,40 - ,44 | 1,26 - 1,61 | 1,81 | n.d. | 32,60 - 35,90 |
| 1976 | 130 | 530-540 | ,40 - ,55 | 1,21 - 1,57 | 1,76 | n.d. | 31,50 - 34,80 |
| 1977 | 79 - 84 | 570-580 | ,60 - ,82 | 1,41 - 1,87 | 1,90 | n.d. | 33,90 - 37,50 |
| 1978 | 86 - 98 | 280 | ,75 | 1,74 - 2,12 | 2,03 | n.d. | 55,30 |
| 1979 | 64 - 70 | 290 | ,71 -1,04 | 1,94 - 2,31 | 2,09 | 7,70 - 9,00 | 56,90 |
| 1980 | 97 - 104 | 290 | ,86 -1,28 | 2,18 - 2,58 | 2,09 | 11,00-13,00 | 81,80 |
| 1981 | 139 - 146 | 306 | ,95 -1,36 | 2,31 - 2,72 | 2,20 | n.d. | 86,38 |

B. Formes choisies de zirconium métal

| | Éponge | Feuilles, feuillards, barres | Farine |
|---|---|---|---|
| | ($/kg) | ($/kg) | ($/kg) |
| 1970 | 12,60 - 16,10 | 27,60 - 36,80 | 27,60 - 30,00 |
| 1971 | 12,40 - 15,70 | 26,70 - 35,70 | 26,70 - 28,90 |
| 1972 | 12,10 - 15,20 | 17,40 - 37,00 | 21,80 |
| 1973 | 12,10 - 15,40 | 17,60 - 37,50 | 22,00 |
| 1974 | 11,90 - 15,20 | 25,80 - 36,60 | 34,60 |
| 1975 | 12,40 - 15,70 | 22,50 - 38,00 | 35,90 |
| 1976 | 11,90 - 15,20 | 21,80 - 32,60 | 34,80 |
| 1977 | 13,00 - 21,20 | 23,40 - 35,30 | 164,20 - 233,70 |
| 1978 | 22,70 - 37,70 | 22,70 - 30,20 | 176,40 - 251,30 |
| 1979 | 23,20 - 31,10 | 46,50 - 90,40 | 180,80 - 257,90 |
| 1980 | 25,80 - 36,20 | 51,60 - 90,20 | 194,00 - 321,90 |
| 1981 | 32,60 - 46,20 | 49,00 -108,80 | 136,00 - 374,10 |

1 Taux de change publié dans la revue mensuelle de la Banque du Canada.

2 Source: U.S. Bureau of Mines des "Minerals Yearbook, Volume I, Metals, Minerals and Fuels", éditions de 1971 à 1981.

3 Sable importé des États-Unis contenant 65 % de $ZrO_2$, f. à b., en vrac.

4 États-Unis, tamis 200 à 325, transporté par chemin de fer à partir des installations de traitement américaines, en sacs.

5 Concentrés importés des États-Unis: tamis 100, c.a.f. aux ports de l'Atlantique.

6 Concentrés importés des États-Unis: tamis 325, c.a.f. aux ports de l'Atlantique.

7 États-Unis, lots de 3 300 livres, titrant à 85 à 90 % de $ZrO_2$, en sacs.

8 États-Unis, catégorie de commerce, pour réacteurs, tonneaux, à partir de l'usine, en sacs.

9 États-Unis, qualité électronique, farine, tonneaux.

n.d.: non disponible.

## ANNEXE 2

## PRINCIPAUX PRODUITS CHIMIQUES À BASE DE ZIRCONIUM ET LEURS PRINCIPALES UTILISATIONS

| Produits chimiques | Utilisations principales |
|---|---|
| A. **Zirconates** | |
| i) Zirconate tricarbonate | a) produits de polissage pour planchers<br>b) peintures au latex<br>c) pellicules lithographiques<br>d) papiers couchés<br>e) matière textile imperméable |
| ii) Fluorozirconates | a) encre d'impression lithographique<br>b) agents mouillant (métaux)<br>c) verre optique<br>d) roues à meule agglomérées de résine<br>e) caoutchouc silicié<br>f) flux décapant |
| iii) Titanate zirconate de plomb | a) lunettes de protection et dispositifs de stockage d'images (enduit de lanthanum)<br>b) transducteurs ultrasoniques |
| B. **Borure de zirconium** | a) utilisations aérospatiales<br>b) cathodes pour systèmes électriques à haute température<br>c) enduits de pièces de tantale<br>d) outils de découpage<br>e) conducteurs hautes températures<br>f) thermocouples |
| C. **Carbures de zirconium** | a) abrasifs et outils de découpage<br>b) conducteurs électriques<br>c) filaments incandescents |
| D. **Carbonates de zirconium** | |
| i) Carbonate zirconium basique | a) comme produit intermédiaire dans la production d'autres produits chimiques à partir de sulfate de zirconium basique |
| ii) Carbonate | a) produits pharmaceutiques<br>b) produits hydrofuges |
| E. **Hydrure de zirconium** | a) torches, traceurs, cartouches, matériel incendiaire<br>b) hydrogénation<br>c) agent moussant (métaux)<br>d) modérateurs nucléaires<br>e) métallurgie des poudres<br>f) tubes à vide |

**Principaux produits chimiques à base de zirconium et leurs principales utilisations** (suite)

| Produits chimiques | Utilisations principales |
|---|---|
| F. **Hydroxyde de zirconium** | a) comme produit intermédiaire dans la production de zircone à partir de sulfate de zirconium basique<br>b) verre<br>c) pigments et teintures |
| G. **Nitrate de zirconium** | a) enduit de métal fondu à teneur d'acier<br>b) durcisseur de pellicules de polyvinyle |
| H. **Nitrure de zirconium** | a) ciments<br>b) creusets et produits réfractaires |
| I. **Oxyde de zirconium (zircone)** | |
| i) Ordinaire (baddeleyite, ou zircon soumis au craquage thermique | a) abrasifs d'alumine-zircone (AZ) (baddeleyite)<br>b) produits réfractaires d'alumine-zircone-silice (AZS)<br>c) couleurs de céramique<br>d) ferrozirconium (baddeleyite)<br>e) émaux<br>f) opacifiants<br>g) autres produits chimiques à base de zirconium<br>h) produits de polissage<br>i) produits réfractaires (baddeleyite)<br>j) zirconium métal (baddeleyite) |
| ii) Stabilisé (cubique) faible pourcentage additionnel de MgO, de CaO ou de $Y_2O_3$) | a) verre résistant aux alcalins<br>b) catalyseur ou support de catalyseur au cours du craquage du pétrole<br>c) élément de chauffage en céramique<br>d) garniture de récipients utilisés pour fondre des alliages très purs<br>e) creusets<br>f) électrocéramique<br>g) pierres précieuses (substitut du diamant)<br>h) creusets de laboratoire, bouchon d'obturation de trous de coulée (à combustion), pots d'échappement et tubes<br>i) capteurs d'oxygène dans les aciéries<br>j) monteurs, condensateur et autres éléments de four de régénération du catalyseur dans le craquage catalytique<br>k) électrolytes solides<br>l) busettes de paniers et vannes de type "barrière roulante" utilisés pour la coulée en continue de l'acier |
| iii) Partiellement stabilisé | a) matrices<br>b) revêtements de boucliers thermiques(des moteurs diesels) |

**Principaux produits chimiques à base de zirconium et leurs principales utilisations** (fin)

| Produits chimiques | Utilisations principales |
|---|---|
| iv) Très pur (précipitations par méthode chimique) | a) verre |
| J. **Oxychlorure de zirconium** | a) agents d'acidification<br>b) graisses<br>c) produits pharmaceutiques<br>d) pigments, teintures et hydrofuges |
| K. **Phosphate de zirconium** | a) contenant de phosphore radioactif<br>b) coagulant |
| L. **Siliciure de zirconium** | a) revêtement à l'épreuve des flammes et des déflagrations<br>b) additif constitué d'un alliage-mère utilisé avec les aciers |
| M. **Silicate de zirconium** | |
| i) silicate de zirconium (pur) | a) opacifiant et colorant de céramique<br>b) revêtement de moules à fonte<br>c) isolant électrique<br>d) chargeur de polyuréthène et de polytétrafluoréthylène |
| ii) silicates doubles | a) fondants dans les mélanges de porcelaine, p. ex. ciments doubles (silicate de zirconium-sodium) |
| N. **Sulfate de zirconium** | |
| i) sulfate de zirconium basique | a) produit intermédiaire dans la production d'hydroxyde de zirconium pur et de carbonate de zirconium basique à partir de zircon et de baddeleyite |
| ii) sulfate de zirconium | a) catalyseur dans le procédé d'hydrogénation<br>b) lubrifiant<br>c) précipitateur de protéine<br>d) agent de tannage |
| O. **Tétrachlorure de zirconium** | a) catalyseur (huile, sulfure, détergents)<br>b) ortho-esters<br>c) pigments et agents de tannage |

Sources: G.G. Hawley (ed.), "The Condensed Chemical Dictionary," dixième édition; S.J. Johnstone et M.G. Johnstone, "Minerals for the Chemical and Allied Industries," deuxième édition; et Roskill Information Services Ltd., Economics of Zirconium, troisième édition, 1980.

## ANNEXE 3

## UTILISATION DU ZIRCONIUM DANS LES RÉACTEURS CANDU DE 600 MWe ET DE 850 MWe

| | 600 MWe | | 850 MWe | |
|---|---|---|---|---|
| | Alliage de zirconium de qualité nucléaire[1] (kg/MWe) | Équivalent d'éponge de zirconium[2] (kg/MWe) | Alliage de zirconium de qualité nucléaire (kg/MWe) | Équivalent d'éponge de zirconium (kg/MWe) |
| **A. Éléments permanents** | | | | |
| Tubes de force | 42,4 | 61,7 | 37,4 | 54,4 |
| Tubes des cuves de réacteurs | 15,8 | 22,9 | 13,8 | 20,2 |
| Mécanisme de contrôle de réactivité | 3,03 | 4,4 | 2,4 | 3,42 |
| | 61,23 | 89,0 | 53,6 | 78,02 |
| Gainage du combustible | 17,5 | 29,2 | 16,9 | 28,2 |
| **B. Remplacement annuel de gainage du combustible** | | | | |
| Gainage du combustible | 22,0 | 36,7 | 15,5 | 25,8 |

Source: L'Énergie Atomique du Canada Limitée

[1] L'expression "qualité nucléaire" est généralement utilisée pour établir une distinction entre le zirconium contenant moins de 200 ppm de hafnium du zirconium de "qualité du commerce" qui contient de 1 à 2 % de hafnium. Les réacteurs de la filière CANDU font appel à du zirconium ayant une moindre concentration en hafnium que les réacteurs à cuves sous pression consommant de l'uranium enrichi. Les alliages de zirconium utilisés pour fabriquer les éléments du coeur des réacteurs CANDU, comme les tubes de force (conçus pour demeurer dans le réacteur pendant au moins 30 ans), doivent avoir une concentration en hafnium inférieure à 50 ppm tandis que cette concentration ne doit pas être supérieure à 80 ppm dans le zirconium entrant dans la fabrication du gainage du combustible, des plaques d'extrémité et les bouchons des tiges de combustible des grappes.

[2] Comprend les provisions pour pertes en cours de traitement et le recyclage en cours de fabrication.

**ANNEXE 4**

**TARIFS DOUANIERS CANADIENS IMPOSÉS SUR LES IMPORTATIONS DE MATÉRIAUX À BASE DE ZIRCONIUM**

CANADA

| Numéro tarifaire | | Tarif préférentiel britannique | Tarif de la nation la plus favorisée (%) | Tarif général | Tarif préférentiel général |
|---|---|---|---|---|---|
| 29500-1 | Sable | franchise | franchise | franchise | franchise |
| 29505-1 | Silicate de zirconium naturel | franchise | franchise | franchise | franchise |
| 35508-1 | Oxyde de zirconium | franchise | 4,6 | 15 | franchise |
| 34720-1 | Éponge et briquettes d'éponge, lingots et blooms, brames, billettes et pièces coulées de zirconium ou d'alliages de zirconium utilisés par les industries canadiennes de la fabrication (expire le 30 juin 1984) | franchise | franchise | 25 | franchise |
| 34730-1 | Barres, tiges, plaques, feuilles, feuillards, fils, pièces de forge ou coulées, feuilles minces et tubes, avec ou sans soudure, de zirconium ou d'alliages de zirconium d'un diamètre extérieur de deux pouces ou plus, utilisés pour la fabrication de réacteurs nucléaires, notamment pour la fabrication des éléments du combustible (expire le 30 juin 1984) | franchise | franchise | 25 | franchise |
| 34731-1 | Tubes sans soudure d'un diamètre extérieur de moins de deux pouces de zirconium ou d'alliages de zirconium utilisés pour la fabrication des réacteurs nucléaires, notamment pour la fabrication des éléments du combustible (expire le 30 juin 1984) | 10 | 10 | 25 | 6,5 |
| 34911-1 | Lingots d'alliages de magnésium répondant aux spécifications A.S.T.M. QE 22 ou QH 21, utilisés pour la production de pièces coulées au magnésium (expire le 30 juin 1984) | franchise | franchise | 25 | franchise |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 34912-1 | Alliages durcissants, notamment le magnésium, les terres rares, le magnésium-didymium, le magnésium-thorium, le magnésium-zirconium et le magnésium-thorium-néodymium-terres rares, utilisés dans la fabrication de pièces coulées au magnésium (expire le 30 juin 1984) | franchise | franchise | 25 | franchise |
| 35121-1 | Ferrochromium, ferrozirconium et carbures au vanadium, sous forme de farine utilisés comme revêtement ou pour la fabrication de tiges ou de fils de soudure, y compris les électrodes de soudure consumables (expire le 30 juin 1984) | franchise | franchise | 25 | franchise |
| 92828-3 | Hydrazine et hydroxylamine et leurs sels minéraux; autres bases minérales et oxydes, hydroxydes et peroxydes métalliques (oxyde de zirconium) | franchise | 5 | 15 | franchise |
| 92828-6 | Hydrazine et hydroxylamine et leurs sels minéraux; d'autres bases minérales et oxydes métalliques, hydroxides et peroxydes. L'oxyde de zirconium est utilisé pour le polissage de verre optique (expire le 30 juin 1984) | franchise | franchise | 25 | franchise |
| 92845-4 | Silicates; silicates de potassium et de sodium du commerce, silicates doubles de zirconium | franchsie | 4,6 | 15 | franchise |
| 92847-1 | Sels d'acides métalliques (par exemple, chromates, permanganates, stannates), zirconates (expire le 30 juin 1984) | franchise | 12,8 | 25 | franchise |

ANNEXE 4 (Fin)

| | | Tarif préférentiel britannique | Tarif de la nation la plus favorisée | Tarif général | Tarif préférentiel général |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | (%) | | |
| 93819-1 | Produits chimiques et préparations de produits chimiques ou de produits connexes (à l'exception de ceux composés de mélanges de produits naturels autres que matières de charge mélangés pour les peintures), non dénommés; produits résiduels des industries chimiques et connexes; non dénommés, à l'exclusion des savons, des produits pharmaceutiques, des essences, des parfums, des cosmétiques ou des produits de toilette (spinelle de zirconium) | 10 | 14,1 | 25 | 9 |

| NPF: Réductions en vertu du GATT (en vigueur au 1er janvier de l'année donnée) | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (%) | | |
| 33508-1 | 4,6 | 4,5 | 4,4 | 4,3 | 4,1 | 4,0 |

Source: Tarif des douanes et index des marchandises, 24 août 1982, Revenu Canada, avec modifications.

## ANNEXE 5

## REVUE PAR PAYS

### Australie

Depuis les années 30, l'Australie occupe le premier rang des producteurs de concentrés de zircon[1] qui est produit avec du rutile et de l'ilménite à partir des sables du Queensland, de New South Wales et de l'ouest de l'Australie[2]. Les régions de l'Est ont déjà produit du zircon de la qualité la plus pure. L'Australie a exporté plus de 501 000 t de zircon[3] en 1980. Le tableau A-1 résume certains aspects de l'industrie australienne de production du zirconium.

Depuis 1977, l'ouest de l'Australie est le principal producteur de sables et de concentrés de zircon[4]. Cette mise en exploitation, au profit de l'Ouest, résulte des pressions exercées par des groupes de protection de l'environnement de la côte Est, de l'expansion des parcs nationaux, de la diminution des réserves de sables minéraux et de problèmes de main-d'oeuvre[5-10]. Quelque 15 % de toutes les ressources australiennes connues de zircon ne peuvent être exploitées à échelle commerciale en raison de facteurs environnementaux[11,12]. Cependant, d'autres sources[13,14] peuvent fournir du zircon de qualité supérieure qui est le plus prisé par les fonderies. Les réserves australiennes de **zircon** sont évaluées à plus de 14 millions de t et leur teneur en **zirconium** à près de 7 millions de t.[15]

L'Australie a connu des périodes pendant lesquelles sa production a été supérieure puis inférieure à la demande. En 1971, des prix minimaux à l'exportation ont été fixés par le gouvernement de l'Australie afin de prévenir de nouvelles baisses pouvant résulter d'un engorgement du marché[16]. En 1973-1974, la demande élevée et la diminution de la production des mines de la côte Est ont provoqué une montée des prix qui ont alors atteint leur niveau le plus élevé[17]. De graves pénuries de zircon ont été signalées en Europe, au début de 1974[18]; l'emploi à grande échelle, au Japon, de produits du zirconium de préférence à la pyrophyllite[19] comme garniture des poches de coulée d'aciers est l'un des principaux facteurs qui ont contribué à la pénurie de zircon. En novembre 1975, l'Australie imposait de nouveau des prix minimaux à l'exportation[20]. Cette fois-ci, l'excédent de l'offre était attribuable à l'apparition de nouvelles sources d'approvisionnements et aux prix qui étaient plus élevés que le seuil de rentabilité des fonderies[21,22]. L'Australie a annulé son prix plancher afin de le remplacer par un système de contrôle par cas d'espèce en 1977.

L'Australie qui produit du zircon de qualité opacifiant[23] a également été un fournisseur de ferrosilicium zirconium entre 1940 et 1975[24]. L'Australian Industrial Refractories Pty Ltd. (AIR) et la Bulli Tile and Brick Pty. Ltd. fabriquent de la brique réfractaire à base de zircon à leurs installations respectives de Mayfield et de Bulli dans la région de New South Wales[25].

En collaboration avec la Frank & Schulte Gmb H. de Essen, d'Allemagne de l'Ouest[26], l'Associated Minerals Consolidated Ltd. de l'Australie a constitué des réserves en vrac de zircon pour ses clients européens à Flushing, aux Pays-Bas.

### Brésil

Le Brésil a été un important fournisseur de minerais de zirconium au cours de la Seconde Guerre mondiale[27]. Ce pays détient, en effet, de grands gisements de sables minéraux, le long des côtes des États de Bahia, de Rio de Janeiro et d'Espirito Santo[28]. En 1967, la MINEGRAL-Companhia Brasileira de Mineraçoes

**Tableau A-1 Producteurs australiens de sable et de concentrés de zircon, 1981**

| Sociétés productrices | Installations d'extraction | Installations de traitement | Production de concentrés |
|---|---|---|---|
| **Côte Est** | | | |
| Associated Minerals Consolidated Ltd. | N. Stradbroke Island, QLD<br>Hastings Point, NSW<br>Jerusalem Creek, NSW<br>Diamond Head, NSW | - Dunwich, QLD<br>- Southport, QLD<br>- Hexham, NSW | |
| Consolidated Rutile Ltd. | North Stradbroke Island, QLD | - Meeandah, QLD | |
| Currumbin Minerals Pty. Ltd. | | - Currumbin, QLD | |
| Mineral Deposits Ltd. | Bridge Hill Ridge, Région de Kempsey et des Forster (8 installations) NSW | - Hawks Nest, NSW<br>- Crescent Head, NSW | |
| Rutile & Zircon Mines (Newcastle) Ltd. | Région de Newcastle, NSW (3 installations)<br>Parc national de Myall Lakes, NSW<br>Parc national de Crowdy Bay et Old Bar, NSW | - Tomago, NSW<br>- Harrington, NSW | |
| | | | Côte Est: 159 000 |
| **Côte Ouest** | | | |
| Allied Eneabba Ltd. | Eneabba, WA | - Geraldton, WA | |
| Associated Minerals Consolidated Ltd. | Eneabba, WA | - Capel et Eneabba, WA | |
| Cable Sands Pty Ltd. | Capel, WA | - Koombana Bay et Bunbury, WA | |
| Westralian Sands Ltd. | Capel, WA | - Capel, WA | |
| | | | Côte Ouest: 270 000 |

Sources: Australia, Bureau of Mineral Resources, Géologie et Géophysique, "Australian Mineral Industry Annual Review 1980", p. 327; M.H. MacPherson, "Zircon to the Year 200" 'IM' Refractories Supplement 1983, p.85.

Industria e Comercio[29] a inauguré son usine pilote pour la production de caldasite, mélange de baddeleyite et de zircon et d'uranium obtenu du minerai extrait du gisement de zirconium uranifère qu'elle exploite dans la région de Poços de Caldas. Depuis ou même avant 1972, la Monazita e Ilmenite do Brasil Limitada a récupéré du zircon comme sous-produit de la monazite extraite à Ponta da Fruta et à Guarapi dans l'État d'Esperito Santo[30,31].

La production de concentrés de zirconium du Brésil a été évaluée à 4 000 t[32] en 1981.

**Chine**

Selon les estimations, la Chine produit 14 000 t/a de sable de zircon qu'elle réserve pour sa propre consommation[33]. En 1980, la China Metallurgical Import and Export Corporation a, selon certains, mis en vente de l'éponge de zirconium de qualité nucléaire et d'autres produits de zirconium[34].

**France**

La France est actuellement l'un des plus importants exportateurs de zirconium de qualité nucléaire. Ce pays a commencé à s'intéresser à cette production au début des années 60, lorsque la Société industrielle du zirconium a été créée pour produire des lingots et de l'éponge de zirconium[35].

La CEZUS, filiale de la Pechiney Corporation, fabrique de l'éponge, des billettes et du trex (tubes filés)[36] à partir d'oxyde de zirconium importé. La société a mis en service, en 1981, une installation de production d'éponge qui utilise une nouvelle technique de sels fondus pour séparer le zirconium de l'hafnium[37]. La Zircotube, autre filiale de la Pechiney, prépare des tubes à base d'alliages de zirconium qui sont utilisés pour le gainage du combustible nucléaire à son installation de Paimboeuf, dans le nord-ouest de la France[38].

En 1979, la France a annoncé que le zirconium deviendrait l'un des matériaux qu'elle devra se procurer en vertu du programme proposé en matière de création d'une réserve générale de matériaux stratégiques.[39]

**Inde**

Même si le sable de zircon est exploité en Inde depuis au moins 1922[40], la production locale n'a reçu tous les encouragements importants nécessaires à son expansion qu'après l'implantation du programme nucléaire de l'Inde, au cours des années 60.

L'Inde possède actuellement deux grands gisements, l'un à Chavara[41] près de Quilon dans l'État de Kerala, l'autre à Chatrapur dans l'État d'Orissa dans la Baie du Bengal. L'Indian Rare Earths Limited, filiale de la Atomic Energy Commission de l'Inde, exploite des installations d'extraction à Chavara et à Manavalakurichi[42], petit gisement de l'État voisin de Tamil Nadu. La Kerala Minerals and Metals Ltd.[43], autre producteur de zircon de l'Inde, exploite également des installations d'extraction dans la région de Chavara.

Au nouveau complexe de sables minéraux de Chatrapur, propriété de l'Indian Rare Earths Limited, qui ne devrait pas être exploitée avant mai 1984[44], la production nominale atteindra 4 000 t/a de zircon obtenu comme sous-produit.

Selon certains, l'Inde aurait produit de l'oxyde de zirconium de qualité nucléaire[45] et du zirconium métal très pur à Trombay[46,47].

**Japon**

Le Japon (tableau A-2) produit de l'éponge de zircon de qualité nucléaire et du commerce à partir de minerais et de concentrés importés. En 1982, les importations évaluées à environ 200 000 t provenaient à 80 % de l'Australie.

Le Japon est un important consommateur de sable et de farine de zircon qu'il utilise en fonderie et pour la fabrication de briques et d'autres produits réfractaires. Le Japon consomme également de plus en plus de zircon en céramique et dans la préparation de pièces coulées, de ciments et de produits réfractaires[48].

La Nippon Mining Co. Ltd. produit de l'éponge de zirconium de qualité du commerce depuis au moins, la fin des années 1950;[49] sa capacité serait de 150 t/a. En août 1980, la société a commencé la production d'éponge à partir de sable de zircon, au rythme de 120 t/a[50]. En 1981, elle vendait des produits traités de zirconium de qualité nucléaire.[51]

La Mitsui, l'Ishizuka Research Institute Ltd. et la Teledyne Wah Chang ont créé en 1971 la Zirconium Industry Co. Ltd. chargée de produire de l'éponge de zirconium de qualité réacteur en utilisant comme matière première[52,53] l'oxyde de zirconium de la Teledyne Wah Chang. La production, évaluée à environ 300 t en 1980[54], a été interrompue en 1981. L'éponge produite par la Zirconium Industry Inc. a été exportée aux États-Unis pour y être fondue et transformée en produits ouvrés[55].

Outre de pouvoir fabriquer de l'éponge de qualité nucléaire, le Japon est en mesure de produire du gainage de zircaloy de qualité nucléaire. Le Japon compte trois grands fabricants de zircaloy. La Sumitomo Metal Industries d'Amagasaki qui, selon certains, disposait d'une capacité de production de 100 000 m/a de gainage de zircaloy en 1977 et planifiait de porter sa capacité à 300 000 m/a à une date à déterminer[56]. Son projet ne s'est pas encore concrétisé. La Kobe Steel Ltd. disposait d'une capacité de production de gainage de zircaloy évaluée à 300 000 m/a, en 1977. La société se proposait de faire passer sa capacité de production entre 600 000 et 900 000 m/a en 1980[57]. La capacité de production de la Kobe était de 600 000 m en 1983. Enfin la Mitsubishi Metal Corporation[58] dont la capacité annuelle de production de son installation de Okagawa est maintenant de 600 000 m. La Japan Nuclear Fuel et la Mitsubishi Nuclear Fuel sont les seuls fabricants japonais de combustibles nucléaires[59].

La Sumitomo Metal Industries et la Kobe Steel Ltd. se sont engagées à utiliser l'éponge produite par les installations japonaises. Cependant, la Mitsubishi Metal Corporation continue d'utiliser les tubes fabriqués aux États-Unis, en raison de ses affiliations avec la Westinghouse[60].

L'accroissement considérable de la capacité de production d'éponge et de fabrication de tubes de zircaloy à partir d'éponge produite au Japon est attribuable au rôle accrû que devrait jouer l'énergie nucléaire au Japon et à l'intérêt porté à la question de l'autonomie, en raison surtout des retards à obtenir, des États-Unis, les permis d'importation de matériaux de qualité nucléaire.

Certains rapports font état que la Sumitomo et la Nippon Stainless Steel Co. Ltd., ont commencé à produire de l'acier inoxydable à base de zirconium en 1977[61]. Les aciéries du Japon produisent et consomment de grandes quantités de ferrozirconium qu'elles utilisent surtout pour la fabrication d'aimants.

Le Japon aurait dernièrement mis au point une nouvelle technique peu coûteuse de production d'éponge de zirconium et serait maintenant en train d'accroître sa production en utilisant de nouvelles méthodes[62,63].

Tableau A-2

**Producteurs et fabricants japonais de zirconium métal et d'alliages de zirconium**

| Société | Capacité annuelle |
|---|---|
| **Producteurs d'éponge** | |
| Nippon Mining Co. Ltd.[1] | 150 t |
| Zirconium Industry Co.[2] | 300 t |
| **Fabricants de tubes de zircaloy** | |
| Kobe Steel Ltd. | 600 000 |
| Mitsubishi Metal Corporation | 600 000 |
| Sumitomo Metal Industries | 100 000 (1977)[3] mètres |
| **Fabricants de gainage de zircaloy combustible** | |
| Japan Nuclear Fuels Co. Ltd. | |
| Mitsubishi Nuclear Fuel Company[5] | 300 000[4], unités de quatre mètres |

[1] La Nippon Mining a commencé à produire du zirconium à partir de sable de zircon en août 1980. Auparavant, elle utilisait comme matière première de l'oxyde importé exempt de hafnium ainsi que de la ferraille. [2] Propriété de la Mitsui, Ishizuka et de la Teledyne Wah Chang (É.-U.). [3] L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium" U.S. Bureau of Mines "Minerals Yearbook, 1977, Volume 1, Metals, Minerals and Fuels", p. 1036. [4] Le personnel, "Zirconium: Nippon Mining to Produce Sponge from August" Roskill's Letter from Japan, n° 52, août 1980, p. 20. [5] La Mitsubishi Metal Corporation, la Westinghouse Electric Corporation (É-U.) et la Mitsubishi Heavy Industries se partagent respectivement 50, 35 et 15 % des intérêts de la Mitsubishi Nuclear Fuel.

**République d'Afrique du Sud**

L'Afrique du Sud est le troisième plus grand producteur mondial de concentrés de zirconium et le plus important producteur de baddeleyite.

En 1972, la Palabora Mining Co. Ltd. (PMC) a étudié les possibilités de mise au marché de la baddeleyite obtenue comme co-produit du cuivre extrait à sa mine à ciel ouvert de Phalaborwa[64]. La PMC produit actuellement environ 5 000 t/a de baddeleyite, de deux qualités[65]. La PMC peut également produire 2 000 t/a de sulfate de zirconium[66]. En 1979, elle a transformé 4 452 t de baddeleyite en produits chimiques à base de zirconium[67].

La production de baddeleyite de la PMC est écoulée par sa filiale, la Zirconia Sales (Pty) Ltd., qui est elle-même représentée sur les marchés européen et nord-américain par la Mandoval Vermiculite (Pty) Ltd. et l'American Vermiculite Corp. d'Atlanta (Georgie). Ces deux sociétés sont respectivement des filiales de la Rio Tinto Zinc Corporation PLC de Londres, en Angleterre[68].

La Phosphate Development Corporation Ltd. (FOSKOR), société d'État de la République d'Afrique du Sud, produit également de la baddeleyite à partir de minerais intrusifs de Phalaborwa. La teneur en zircone de ce gisement est de 0,2 % environ[69].

La capacité actuelle de production de la FOSKOR est de 7 200 t/a de baddeleyite, de trois qualités[70]. La production est mise sur le marché par la Foskem Pty Ltd. qui a choisi comme mandataire la Th. Goldschmidt A.G. de l'Allemagne de l'Ouest[71]. En 1982, la production combinée de la FOSKOR et de la PMC était évaluée à 10 000 t/a[72].

Des études de faisabilité ont été exécutées en 1974 afin de déterminer les possibilités d'entreprendre la production de minerais de titane et de zircon à partir du sable de plage de Richard's Bay, au Natal[73]. C'est en 1977[74] qu'a commencé l'exploitation de ces plages. La Richards Bay Minerals (société de personnes constituée par la Qit-Fer et Titane Inc. (du Canada), l'Industrial Development Corporation of South Africa, l'Union Corporation Ltd., la South African Mutual Life Assurance Society et la Southern Life Association)[75] produit du zircon de qualité standard et céramique[76-77]. La nouvelle drague et le concentrateur par flottation mis en service en 1982 permettront peut-être de faire passer la production annuelle à 135 000 t[78].

**URSS**

En URSS, la production de zircon évaluée entre 50 000 et 75 000 t/a est réservée à la consommation intérieure[79,80]. L'URSS qui a mis sur pied un important programme nucléaire s'est lancée dans la production d'éponge afin de répondre à ses besoins.

Outre d'exporter de l'oxyde de zirconium au Royaume-Uni, l'URSS en fourni également aux États-Unis.

**États-Unis**

Aux États-Unis, des gisements de minerais lourds sont situés le long de la plaine côtière de l'Est, notamment au New Jersey, en Caroline du Nord et du Sud, en Georgie et en Floride, le long du Mississipi dans le Tennessee et dans l'État de New York[81].

Aux États-Unis, le zircon est obtenu comme un co-produit de l'exploitation de sables titanifères[82]. La E.I. Du Pont de Nemours produit du zircon à Starke et à Highland, en Floride, alors que l'Associated Minerals Consolidated récupère du zircon à Green Cove Springs dans le même État[83]. En 1980, la capacité annuelle de production était évaluée à près de 91 000 t[84]. Les États-Unis ne publient aucune statistique sur leurproduction du zircon qui en 1978 et en 1979 était néanmoins évaluée à 85 000 t/a[85]. Quatre sociétés traitent du zircon alors que l'oxyde de zirconium est fourni par six producteurs de métalloïdes[86]. Un certain nombre de sociétés fabriquent des produits réfractaires, des abrasifs et des baguettes pour soudage ainsi que des produits chimiques au zirconium.

Les États-Unis comptent actuellement deux producteurs de zirconium métal. La Teledyne Wah Chang, plus grand producteur du monde occidental, dispose d'une capacité d'environ 2 900 t/a d'éponge[87] et la Western Zirconium (Westinghouse) qui, en 1979, a construit une installation de production d'une capacité d'environ 1 360 t/a[88]. En raison du ralentissement de l'industrie de la construction de centrales nucléaires aux États-Unis et à l'étranger, la production totale d'éponge de zirconium des États-Unis n'a atteint que 1 600 t[89] environ en 1980. Le tableau A-3 donne un résumé de certains aspects de l'industrie du zirconium aux États-Unis.

Les États-Unis sont un important consommateur de produits à base de zirconium. En 1980, la consommation du pays était évaluée à 131 000 t de zircon et à 12 000 t d'oxyde de zirconium[90]. Le pays est également un important importateur de concentrés de zircon et grand exportateur d'oxyde de zirconium et d'alliages de zirconium[91].

En 1980, le ministère de l'Énergie des États-Unis disposait d'une réserve de 157 t d'éponge de zirconium, de 886 t de lingots et de profilés de zirconium et d'une tonne de rebuts de zirconium[92]. Pour l'instant, les États-Unis n'ont fixé aucun objectif en matière de création d'une réserve générale de zirconium[93]. Toute société qui désire exporter du zirconium de qualité nucléaire des États-Unis, doit obtenir une licence au préalable.

**Tableau A-3**

**Producteurs de matériaux de zirconium aux États-Unis**

| | |
|---|---|
| **Zircon** | |
| Associated Minerals Consolidated Ltd. | Green Cove Springs, Floride |
| C-E Refractories, Division of Combustion Engineering Inc. | Camden, New Jersey et Vandalia, Missouri |
| E.I. Du Pont de Nemours & Co. Inc. | Wilmington, Delaware |
| **Zircon traité** | |
| C-E Cast Industrial Products | Long Beach, Californie |
| CIBA-GEIGY Corp, Drakenfeld Colors | Washington, Pennsylvanie |
| Continental Mineral Processing Corp. | Sharonville, Ohio |
| M & T Chemicals Inc. | Andrews, Caroline du Sud |
| TAM Ceramics | Hightstown, New Jersey |
| **Produits chimiques à base de zirconium** | |
| Associated Minerals Consolidated Ltd. | Bow, New Hampshire (Associated Minerals Consolidated Ltd. [groupe d'Australie]) |
| Carborundum Company | Falconer, New York |
| CIBA-GEIGY Corp., Drakenfeld Colors | Washington, Pennsylvanie |
| Ferro Corp. | Cleveland, Ohio |
| Magnesium Elektron Inc | Flemington, New Jersey |
| Compagnie Norton | Huntsville, Alabama |
| Ronson Metals Corporation | Newark, New Jersey |
| TAM Ceramics | Hightstown, New Jersey |
| Teledyne Wah Chang | Albany, Oregon |
| Transelco, Inc. | Dresden, New York |
| Western Zirconium Inc. | Ogden, Utah |
| ZIRCOA Products | Cleveland, Ohio |

Tableau A-3 (suite)

| | |
|---|---|
| **Zirconium métal et alliages** | |
| Elkem Metals Co. | Alloy, Virginie-Occidentale |
| Foote Mineral Company | Cambridge, Ohio |
| Magnesium Elektron Inc. | Flemington, New Jersey |
| Reading Alloys, Inc. | Robesonia, Pennsylvanie |
| Shieldalloy Corp. | Newfield, New Jersey |
| TAM Ceramics | Hightstown, New Jersey |
| Teledyne Wah Chang | Albany, Oregon |
| Thiokol Corp., Ventron Chemicals Division | Beverly, Massachusetts |
| Western Zirconium Inc. | Ogden, Utah |
| **Tubes** | |
| Cartech | El Cajon, Californie |
| Nuclear Fuel & Special Projects Fabrication (General Electric Co.) | Wilmington, Caroline du Nord |
| Sandvik Special Metals Corporation | Kennewick, Washington |
| Specialty Metals Division (Westinghouse Electric Corp.) | Blairsville, Pennsylvanie |
| **Produits réfractaires** | |
| Carborundum Company | Falconer, New York |
| C-E refractories, Division of Combustion Engineering Inc. | St. Louis, Missouri; Camden, New Jersey; et Vandalia, Missouri |
| Corhart Refractories Co. | Buckhannon, Virginie de l'Ouest; Corning, New York; et Louisville, Kentucky |
| Didier-Taylor Refractories Corp. | Cincinatti, Ohio; and South Shore, Kentucky |
| A.P. Green Refractories Co., Remmey Division | Philadelphia, Pennsylvanie |

Tableau 3-A (fin)

| | |
|---|---|
| Harbison-Walker Refractories Company | Mount Union, Pennsylvanie |
| Sherwood Refractories Co. | Cleveland, Ohio |
| Sola Basic Industries, Engineered Ceramics Division | Gilberts, Illinois |
| Zedmark, Inc. | Butler, Pennsylvanie |
| ZIRCOA Products | Cleveland, Ohio |

---

Sources: W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", Préimpression de 1981 du Bureau of Mines Minerals Yearbook, p. 2; V.P. de Poix, "Zirconium: Depression Deepens in U.S. Nuclear Markets", Enginnering and Mining Journal, vol. 183, n° 3, mars 1982, p. 119.

## REFERENCES


1 Le personnel, "World Zircon Producers - Australia and U.S.A. Still Dominate", Industrial Minerals, n° 76, janvier 1974, p. 13.

2 Australia, Bureau of Mineral Resources, Géologie et géophysique, "Australian Mineral Industry Annual Review, 1979", p. 254 et 255.

3 Australia, Bureau of Mineral Resources, Géologie et géophysique, "Australian Mineral Industry Annual Review, 1980", p. 305.

4 Le personnel, "Australia", Industrial Minerals, n° 155, août 1980, p. 10.

5 Ibid, p. 9.

6 Le personnel, "Shifting Sands", Industrial Minerals, n° 166, juillet 1981, p. 7.

7 B. Coope (ed), "Australia's Industrial Minerals: Developments to Diminish Imports" Industrial Minerals, n° 142, juillet 1979, Mineral Sands Supplement, p. i.

8 Le personnel, "Australia", Industrial Minerals, n° 115, avril 1977, p. 9.

9 Le personnel, "Australia", Industrial Minerals, n° 111, décembre 1976, p. 9.

10 Le personnel, "Zircon - Towards Oversupply Again", Industrial Minerals, n° 91, avril 1975, p. 39.

11 Australia, Bureau of Mineral Resources, Géologie et géophysique, op. cit., p. 292.

12 Le personnel, "Mineral Sands - The World Looks to Our Beaches", Australian Mining (Queensland Survey), vol. 72, n° 3, mars 1980, p. 30 à 32.

13 J.M. Middleton, "Zircon: Its Application in the Foundry", Industrial Minerals, n° 16, janvier 1969, p. 29.

14 Le personnel, "Zircon in Tiers", Industrial Minerals, n° 137, février 1979, p. 7.

15 Ministère du Commerce et des ressources de l'Australie, "Australia's Mineral Resources: Mineral Sands", p. 2.

16 Le personnel, Industrial Minerals, n° 91, op. cit., p. 33.

17 Le personnel, "Zircon Shortage Bites but Ample Supplies of Chromite", Industrial Minerals, n° 76, janvier 1974, p. 9 et 11.

18 Ibid.

19 Le personnel, Industrial Minerals, n° 91, Ibid.

20 Le personnel, "That Zircon Price Again", Industrial Minerals, n° 109, octobre 1976, p. 49.

21 Ibid.

22 Le personnel, Industrial Minerals, n° 91, op. cit., p. 33 à 43.

23 S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", United States Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, 1975, Volume I, Metals, Minerals and Fuels," p. 1513.

24 Ibid.

25 Groupe constitué de représentants de l'Australie et des membres du Commonwealth chargé d'étudier le traitement des matières premières, "Australian Refractories Industry - Potential For Expansion", p. 63.

26 Le personnel, "Associated Minerals Consolidated Ltd., Australian Mining, Vol. 73, n° 1, janvier 1981, p. 8.

27 Le personnel, "Pattern of Zircon Use May Change", Industrial Minerals, n° 6, janvier 1969, p. 9.

28 Le personnel, "World Zircon Producers: Australia and U.S.A. Still Dominate", Industrial Minerals, n° 76, janvier 1974, p. 14 et 15.

29 S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, 1967, Volume I, Metals and Minerals (Except Fuels)", p. 1234.

30 S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, 1972, Volume I, Metals and Minerals (Except Fuels)", p. 1343.

31 Le personnel, Industrial Minerals, n° 76, Ibid.

32 W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", préimpression du 1981 Minerals Yearbook du Bureau of Mines, p. 8.

33 W.S. Kirk, Ibid.

34 W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", préimpression du 1980 Minerals Yearbook du Bureau of Mines, p.9.

35 F.W. Wessel, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1961, Volume I, Metals and Mineral (except Fuels), p. 1363.

[36] G.R. Couch, "Zirconium - Nuclear Market Will Fuel Demand Growth", Engineering and Mining Journal, Vol. 175, n° 3, mars 1974, p. 135.
[37] W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", préimpression du 1981 Minerals Yearbook du Bureau of Mines, p. 9.
[38] Pechiney Corporation, Rapport annuel de 1980, p. 21.
[39] R.H. Fuller, "Zirconium and Hafnium", Mining Annual Review - 1980, p. 106.
[40] Indian Science News Service, "Titanium and Zirconium: Beach Sand Mining from the Sands of Travancore", Canadian Mining Journal, vol. 77, n° 7, juillet 1956, p. 67.
[41] K.V. Poulose, "Heavy Mineral and Glass Sand Deposits of Kerala Coast", Indian Minerals, vol. 26, n° 1, janvier-mars 1972, p. 119 et 120.
[42] Le personnel, "Ilmenite and Rutile", Indian Minerals Yearbook, 1976-1977, p. 761.
[43] Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Zirconium, Third Edition, 1980," p. 76.
[44] G.M. Clarke, "The Industrial Minerals of India", Industrial Minerals, n° 191, août 1983, p. 35.
[45] S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", Minerals Yearbook, du U.S. Bureau of Mines, 1967, Volume 1, Metals and Minerals (except Fuels), p. 1234.
[46] J.G. Parker, "Zirconium and Hafnium", Minerals Yearbook, U.S. Bureau of Mines, 1967, Volume 1, Metals and Minerals (except Fuels), p. 1214.
[47] Le personnel, "India Pilots Zirconium Metal Plant at Trombay", Nuclear Canada, vol. 3, n° 7, juillet-août 1964, p. 6.
[48] Roskill's Letter From Japan, n° 60, avril 1981, p. 7.
[49] F.W. Wessel, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1961, Volume I, Metals and Minerals (Except Fuels)," p. 1363 et 1364.
[50] Roskill's Letter From Japan, n° 54, octobre 1980, p. 3.
[51] V.P. de Poix, "Zirconium: Nuclear Depression in U.S. Continues to Dampen Market", Enginnering and Mining Journal, vol. 182, n° 3, mars 1981, p. 127.
[52] V.P. de Poix, "Zirconium: Growth Rate Suffers Further Setbacks", Engineering and Mining Journal, vol. 179, n° 3, mars 1978, p. 135.
[53] Roskill's Letter From Japan, n° 54, octobre 1980, p. 3.
[54] Metal Bulletin, n° 6530, 10 octobre 1980, p. 24.
[55] L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1977, Volume I, Metals, Mineral and Fuels, p. 1036.
[56] L.E. Lynd, op. cit., p. 1036.
[57] Ibid.
[58] Le personnel, "Zirconium: Manufacturers Rush to Raise Zircalloy Output", Roskill's Letter from Japan, n° 71, mars 1982, p. 8.
[59] Le personnel, "Zirconium: Nippon Mining to Produce Sponge from August", Roskill's Letter from Japan, n° 52, août 1980, p. 20.
[60] Ibid.
[61] P.D.H. Gadsden, "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review 1978, p. 99.
[62] Roskill's Letter from Japan, n° 60, op. cit., p. 1.
[63] Roskill's Letter from Japan, n° 54, op. cit., p. 1 à 4.
[64] S.G. Ampian (1972), op. cit., p. 1344.
[65] P. Gadsden, "Zirconium and Hafnium," in Mining Annual Review, 1983, p. 89.
[66] Ibid.
[67] Australia, Bureau of Mineral Resources, Géologie et géophysique, "Australian Mineral Industry, Annual Review, 1979", p. 292.
[68] Le personnel, Industrial Minerals, n° 169, Ibid.
[69] Le personnel, "On The Trail of Zirconium Oxide", South African Mining and Engineering Journal, vol. 81, Part 1, n° 4034, 29 mai 1970, p. 1089.
[70] Industrial Minerals, n° 169, op. cit., p. 61 et 62.
[71] Ibid.
[72] P. Gadsden, (1983), Ibid.
[73] S.G. Ampian, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1974, Volume I, Metals and Minerals (Except Fuels), p. 1408.

74 L.E. Lynd, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1978-1979, Volume I, Metals, Minerals and Fuels, p. 1030.
75 Le personnel, "Richards Bay Sands Yield a Rich Harvest", Coal, Gold + Base Minerals in Southern Africa, vol. 29, n° 7, juillet 1981, p. 41.
76 L.E. Lynd, op. cit., p. 1030.
77 Le personnel, "The Impact of Richards Bay (resumed)", Industrial Minerals, n° 150, mars 1980, p. 7 et 91.
78 M.H. MacPherson, "Zircon to the year 2000", 'IM' Refractories Supplement 1983, p. 36.
79 W.S. Kirk, op. cit., 1981, p. 8.
80 Roskill Information Services Ltd., op. cit., p. 13.
81 T.F. Garner, "Heavy Minerals Industry of North America": préimpression des Actes du 4e Congrès international sur les minéraux industriels, Atlanta.
82 W.S. Kirk, "Zirconium and Hafnium", U.S. Bureau of Mines, Minerals Yearbook, 1980, Vol. I, Metals and Minerals, p. 914.
83 Ibid.
84 Ibid.
85 R.H. Fuller, "Zirconium and Hafnium" in Mining Annual Review, 1980, p. 106.
86 W.S. Kirk, op. cit., 1980, p. 914.
87 R.H. Fuller, op. cit., 1980, p. 106.
88 W.S. Kirk, op. cit., 1980, p. 915.
89 Ibid., p. 914.
90 Ibid., p. 915 et 916.
91 Ibid., p. 917 à 919.
92 Ibid., p. 913.
93 W.T. Adams, "Zirconium," U.S. Bureau of Mines, Mineral Commodity Summaries: 1983, p. 176.

**ANNEXE 6**

## LISTE DE DIVERS RAPPORTS SUR LE ZIRCONIUM PRÉPARÉS PAR ÉNERGIE, MINES ET RESSOURCES CANADA


Boucher, M.A., "Zirconium, 1980", préimpression de l'Annuaire des minéraux au Canada, 1980, 9 p.

Davidson, A., "Petrochemistry of the Blachford Lake Complex near Yellowknife, N.W.T." in Y.T. Maurice (ed.), "Uranium in Granites," Document 81-23 de la Commission géologique du Canada, 1982, p. 71 à 79.

Dutrizac, J.E., "A Comparative Analysis of Athabasca Tar Sand Zircon and Chemical Analysis of Some Other Canadian Minerals", CANMET, Laboratoires des sciences minérales, Rapport MRP/MSL 78-180 (TR), 1978, 15 p.

Dutrizac, J.E., "A Listing of Zirconium and Zirconium-Bearing Minerals", CANMET, Laboratoires des sciences minérales, Rapport MRP/MSL 78-41 (TR), 1978, 16 p.

Lalonde, C.R. and Dalton, J.L., "The Determination of Uranium, Thorium, Hafnium, Iron, Titanium, Calcium and Sulphur in Zircon Sands by X-Ray Fluorescence Analysis", CANMET, Laboratoires des sciences minérales, Rapport MSL-INT 79-36, avril 1979, 16 p.

Shank, R.J., "Canada's Dependence on Imported Minerals and Metals - The Issue", Mineral Policy Sector Internal Report MRI 81/7, 1981, 29 p.

Le personnel, "Imported Mineral Raw Materials: Guidelines for Research Policy", Rapport interne du Secteur de la politique minérale 80/8, mai 1980, 14 p.

Theis N.J., "Uranium-Bearing and Associated Minerals in their Geochemical and Sedimentological Context, Elliot lake, Ontario", Bulletin 304 de la Commission géologique du Canada, 1979, 50 p.

## ANNEXE 7

## RÉFÉRENCES GÉNÉRALES


Alberta, Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, "Energy Heritage: Oil Sands and Heavy Oils of Alberta", ENR I/19-1, Edmonton, 1982, 94 p.

Ampian, S.G. "Zirconium and Hafnium" U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems", 1975 Edition, U.S.B.M. Bulletin 667, Washington, D.C., Imprimerie du gouvernement des É.-U., 1976, 1259 p., p.1243 à 1259.

Carrigy, M.A., "Criteria for Differentiating the McMurray and Clearwater Formations in the Athabasca Oil Sands", Conseil de recherche de l'Alberta, Bulletin 14, 1963, 32 p.

Carrigy, M.A., "Lithology of the Athabasca Oil Sands", Conseil de recherches de l'Alberta, Bulletin 8, 1966, 48 p.

Cheadle, B.A., "Fabrication of Zirconium Alloys into Components for Nuclear Reactors", in A.L. Lowe, Jr. and G.W. Parry (eds.), "Zirconium in the Nuclear Industry", American Society for Testing and Materials, 1977.

Farnworth, F., Jones, S.L. et MaAlpine, I., "The Production, Properties and Uses of Zirconium Chemicals", in R. Thompson, (Ed.), Specialty Inorganic Chemicals, London, Royal Chemical Society, 1981, 506 p., p. 248 à 284.

Gadsden, P., "Zirconium and Hafnium", in Mining Annual Review, 1983, London (England), The Mining Journal Limited, 1983, 534 p., p. 89.

Hawley, G.G. (ed.), "The Condensed Chemical Dictionary," Tenth edition, New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1981, 1135 p.

Johnstone, S.J., and Johnstone, M.G., "Minerals for the Chemical and Allied Industries," Deuxième édition, Londres et Angleterre, Chapman and Hall, 1961, 788 p.

Kirk, W.S., "Zirconium and Hafnium", préimpression du 1981 Minerals Yearbook du Bureau of Mines, Washington, D.C., Imprimerie du gouvernement des É.-U., 11 p.

MacPherson, M.H., "Zircon to the year 2000", 'IM' (Industrial Minerals) Refractories Supplement 1983, p. 83 à 88.

Mellon, G.B., "Heavy Minerals of the McMurray Formation", Conseil de recherches de l'Alberta, Rapport n° 72, 1956, 43 p.

Page, R.D. "Canadian Power Reactor Fuel", Énergie Atomique du Canada, Limitée, Publication n° 5609, Mississauga (Ontario), E.A.C.L., 1976, p. 56.

Parry J. (ed), "Ferro Alloys: A World Survey", London, Metal Bulletin Ltd., 1979, p. 170.

de Poix, V.P., "Zironium: Outlook Hit by Cancellations of Nuclear Power Plants, Engineering and Mining Journal, vol. 184, n° 3, mars 1983, p. 90 et 91.

Roskill Information Services Ltd., "The Economics of Zirconium Third Edition, 1980", London, Roskill Information Services Ltd., 198 p.

United States Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1983". Washington, D.C., Imprimerie du gouvernement des É.-U. 1983, 183 p., p. 176 et 177.

MAPS NOT

FILMED

CARTES

OMISES